

# Lebensdauerabschätzung von Komponenten für Windenergieanlagen

Vergleich der Methoden der statischer Superposition und Skalierung  
und der MKS/FEM Berechnung

**Prof. Dr.-Ing. Günter Willmerding, Jakob Häckh**  
Steinbeis-Transferzentrum Neue Technologien in der Verkehrstechnik

**M.Sc. Yvan Radovic**  
SAMTECH GmbH, Germany

**Elmar Weber**  
Zollern GmbH&Co KG

## Inhalt

- Übersicht der Methoden zur Lebensdauerberechnung mit winLIFE
- Ermittlung der lokalen Beanspruchung im Bauteil durch Superposition und Skalierung statischer Einheitslastfälle unter Verwendung von (gemessenen) Last-Zeit-Funktionen unter Berücksichtigung von Kontakt und Rotation
  - nichtlineare Probleme (Kontakt)
  - Rotation
  - Beispiel: Getriebegehäuse einer WEA unter realistischen Lasten mit ANSYS und winLIFE
- Ermittlung der lokalen Beanspruchung durch transiente Berechnung mit MKS/FEM
  - Beispiel Off-Shore-WEA mit SAMCEF und winLIFE
- Zusammenfassung

## Inhalt

- [Übersicht der Methoden zur Lebensdauerberechnung mit winLIFE](#)
- Ermittlung der lokalen Beanspruchung im Bauteil durch Superposition und Skalierung statischer Einheitslastfälle unter Verwendung von (gemessenen) Last-Zeit-Funktionen unter Berücksichtigung von Kontakt und Rotation
  - nichtlineare Probleme (Kontakt)
  - Rotation
  - Beispiel: Getriebegehäuse einer WEA unter realistischen Lasten mit ANSYS und winLIFE
- Ermittlung der lokalen Beanspruchung durch transiente Berechnung mit MKS/FEM
  - Beispiel Off-Shore-WEA mit SAMCEF und winLIFE
- Zusammenfassung

## Übersicht der in winLIFE für WEA verfügbaren Methoden zur Lebensdauerabschätzung

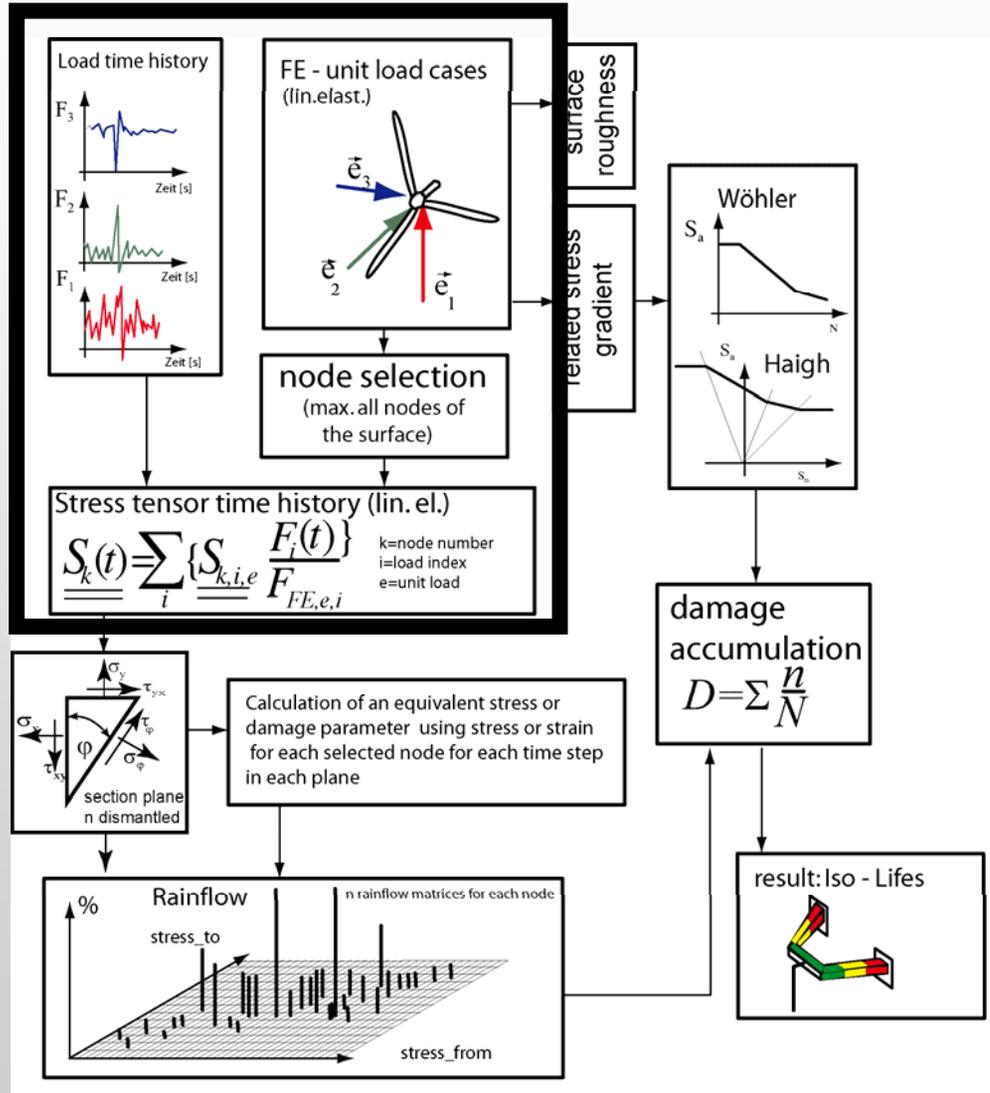
---

- Nennspannungskonzept (bei geometrisch einfachen Bauteilen z.B. Wellen) erfolgreich anwendbar
- Strukturspannungskonzept (insbesondere für Schweißnähte bei sehr großen Strukturen üblich)
- Kerbspannungskonzept (Verwendung örtlicher, elastischer Spannungen aus FEM)
- Örtliches Dehnungskonzept (Dehnung und Spannung, vorzugsweise im LCF-Bereich)

## Inhalt

- Übersicht der Methoden zur Lebensdauerberechnung mit winLIFE
- Ermittlung der lokalen Beanspruchung im Bauteil durch Superposition und Skalierung statischer Einheitslastfälle unter Verwendung von (gemessenen) Last-Zeit-Funktionen unter Berücksichtigung von Kontakt und Rotation
  - nichtlineare Probleme (Kontakt)
  - Rotation
  - Beispiel: Getriebegehäuse einer WEA unter realistischen Lasten mit ANSYS und winLIFE
- Ermittlung der lokalen Beanspruchung durch transiente Berechnung mit MKS/FEM
  - Beispiel Off-Shore-WEA mit SAMCEF und winLIFE
- Zusammenfassung

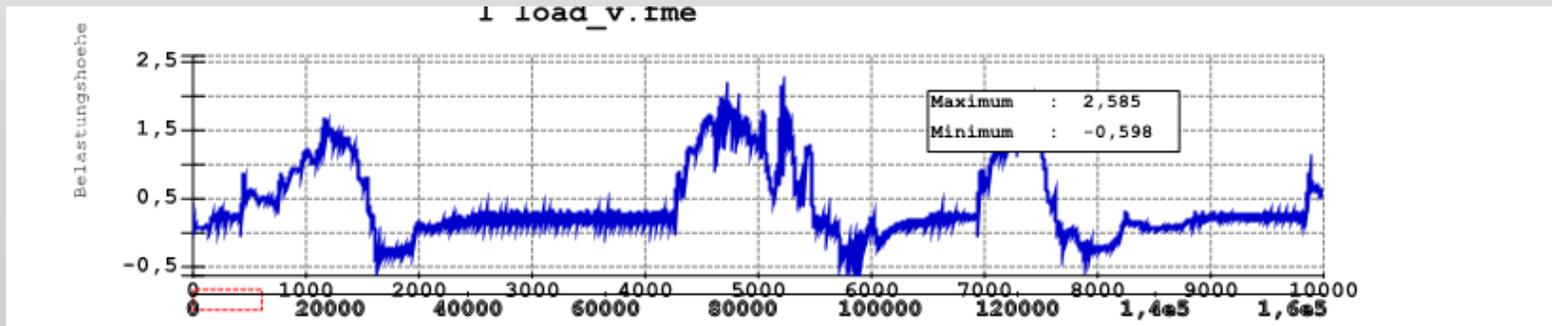
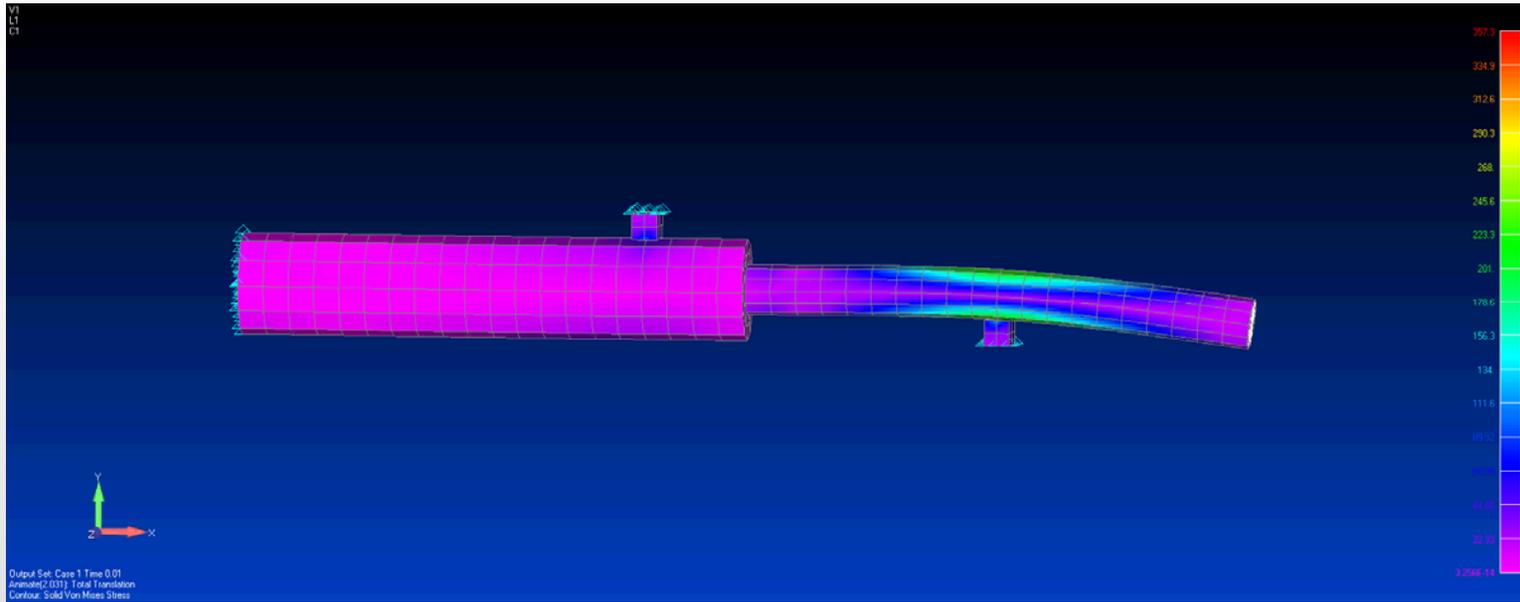
# Lebensdauerabschätzung durch Superposition und Skalierung / Ablauf



## Inhalt

- Übersicht der Methoden zur Lebensdauerberechnung mit winLIFE
- Ermittlung der lokalen Beanspruchung im Bauteil durch Superposition und Skalierung statischer Einheitslastfälle unter Verwendung von (gemessenen) Last-Zeit-Funktionen unter Berücksichtigung von Kontakt und Rotation
  - nichtlineare Probleme (Kontakt)
  - Rotation
  - Beispiel: Getriebegehäuse einer WEA unter realistischen Lasten mit ANSYS und winLIFE
- Ermittlung der lokalen Beanspruchung durch transiente Berechnung mit MKS/FEM
  - Beispiel Off-Shore-WEA mit SAMCEF und winLIFE
- Zusammenfassung

# Lebensdauerabschätzung durch Superposition und Skalierung / Sonderproblem Kontakt



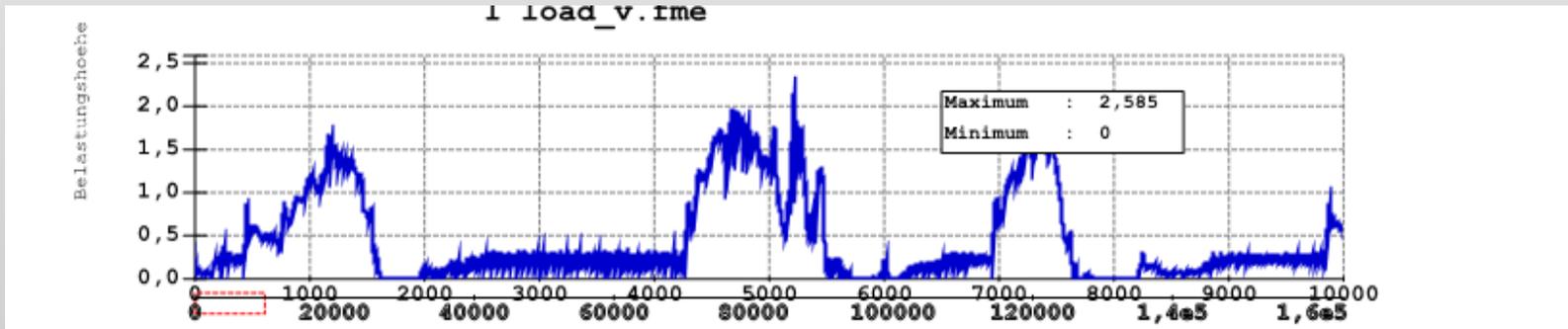
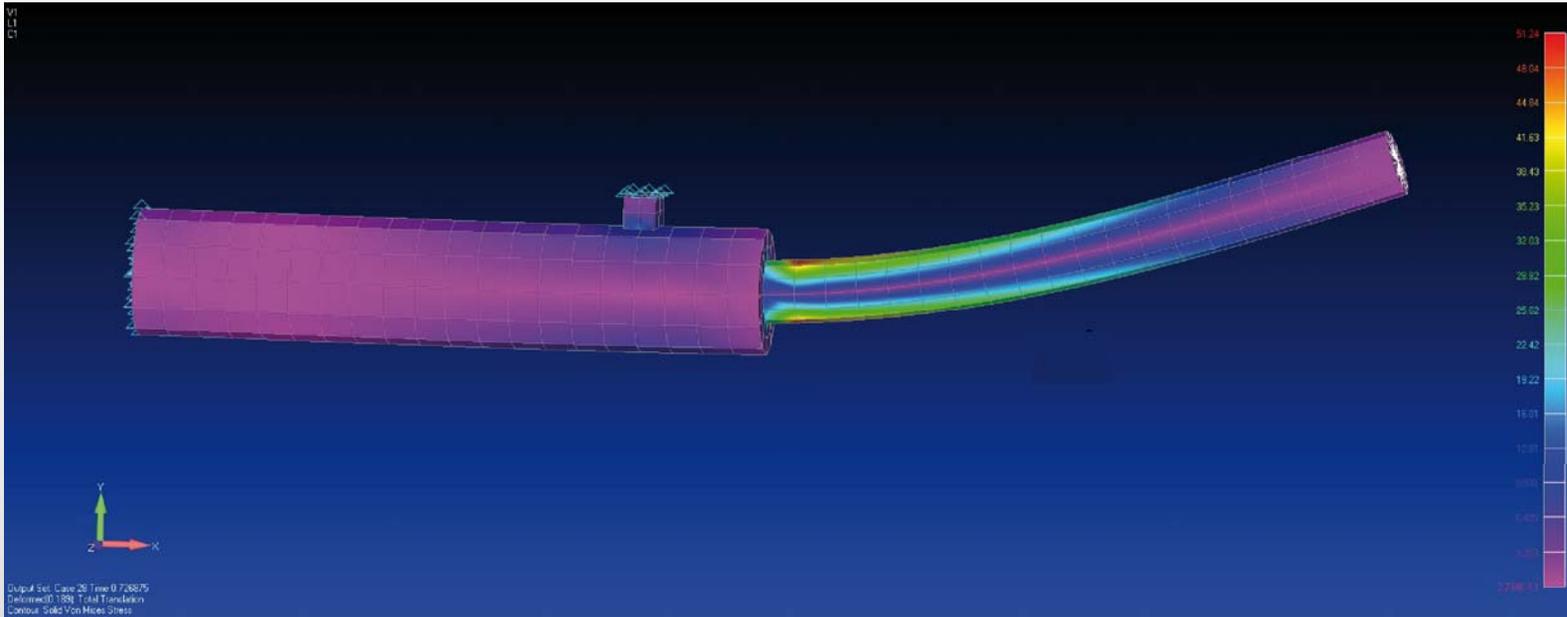
Kontaktprobleme können durch Aufteilung in entsprechende Einheitslastfälle (positive , negativ) und passende Zerlegung der Last-Zeit-Funktion berücksichtigt werden.

Stress tensor time history (lin. el.)

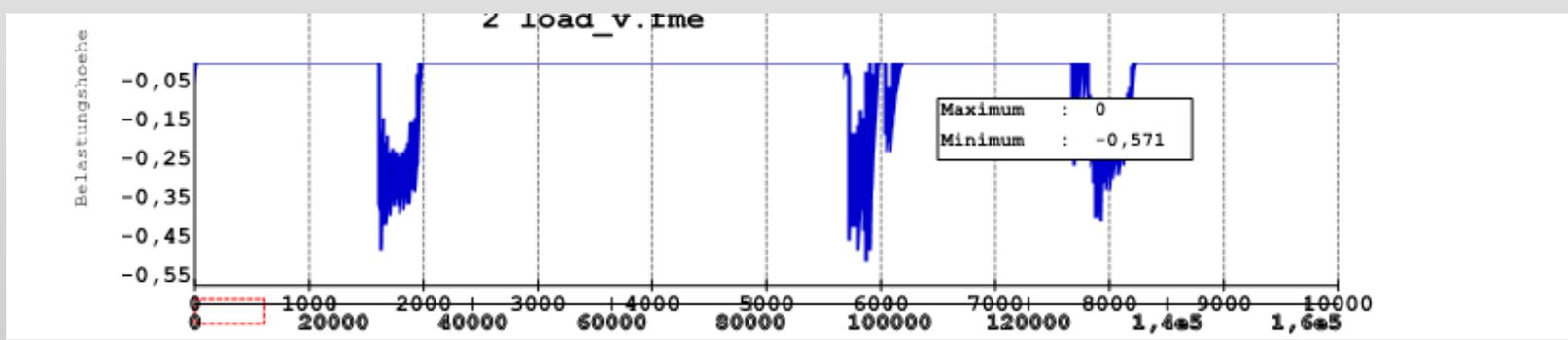
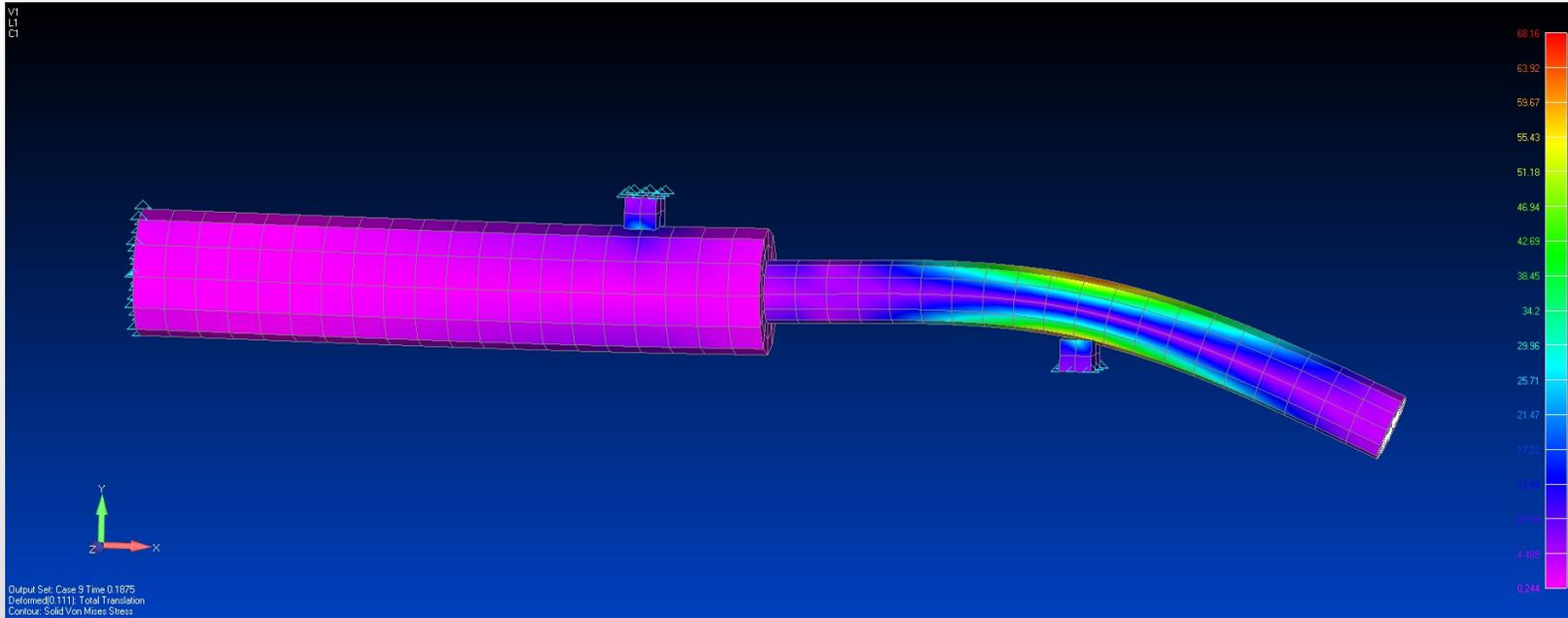
$$\underline{\underline{S_k(t)}} = \sum_i \left\{ \underline{\underline{S_{k,i,e}}} \frac{F_i(t)}{F_{FE,e,i}} \right\}$$

k=node number  
i=load index  
e=unit load

# Lebensdauerabschätzung durch Superposition und Skalierung / Sonderproblem Kontakt



# Lebensdauerabschätzung durch Superposition und Skalierung / Sonderproblem Kontakt



winLIFE - Bsp\_Zylinder

Projekt Info: samcef\_jan\_2011\_c, Bsp\_mux\_zylinder, **Bsp\_Zylinder\***, test\_gw\_18\_01\_2011, 1\_test\_gw\_18\_01\_2011, 2\_test\_gw\_18\_01\_2011, 3\_te...

Belastung

1 load\_v.fme

| Index | Datensource | Multiplikator | Wiederholungen | Spalte | 1. Datenreihe | Bereich |
|-------|-------------|---------------|----------------|--------|---------------|---------|
| 1     | load_v.fme  | 1             | 1              | 1      | 2             | pos     |
| 2     | load_v.fme  | 1             | 1              | 1      | 2             | neg     |

Pfad: C:\gw\_winLIFE\beispiel

Belastung

2 load\_v.fme

winLIFE 3.3.5

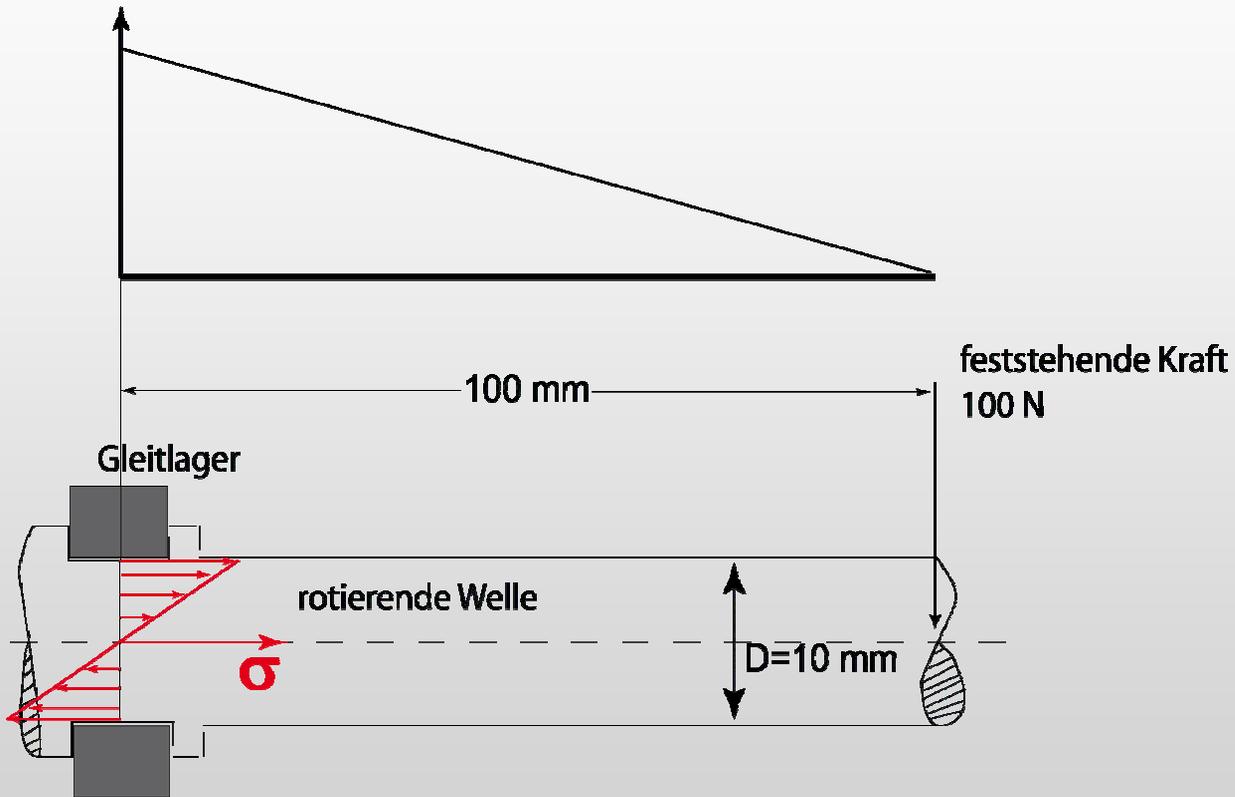
Start | Microsoft PowerPoint ... | winLIFE - Bsp\_Zylinder | Belastung | DE 98% | 11:03

## Inhalt

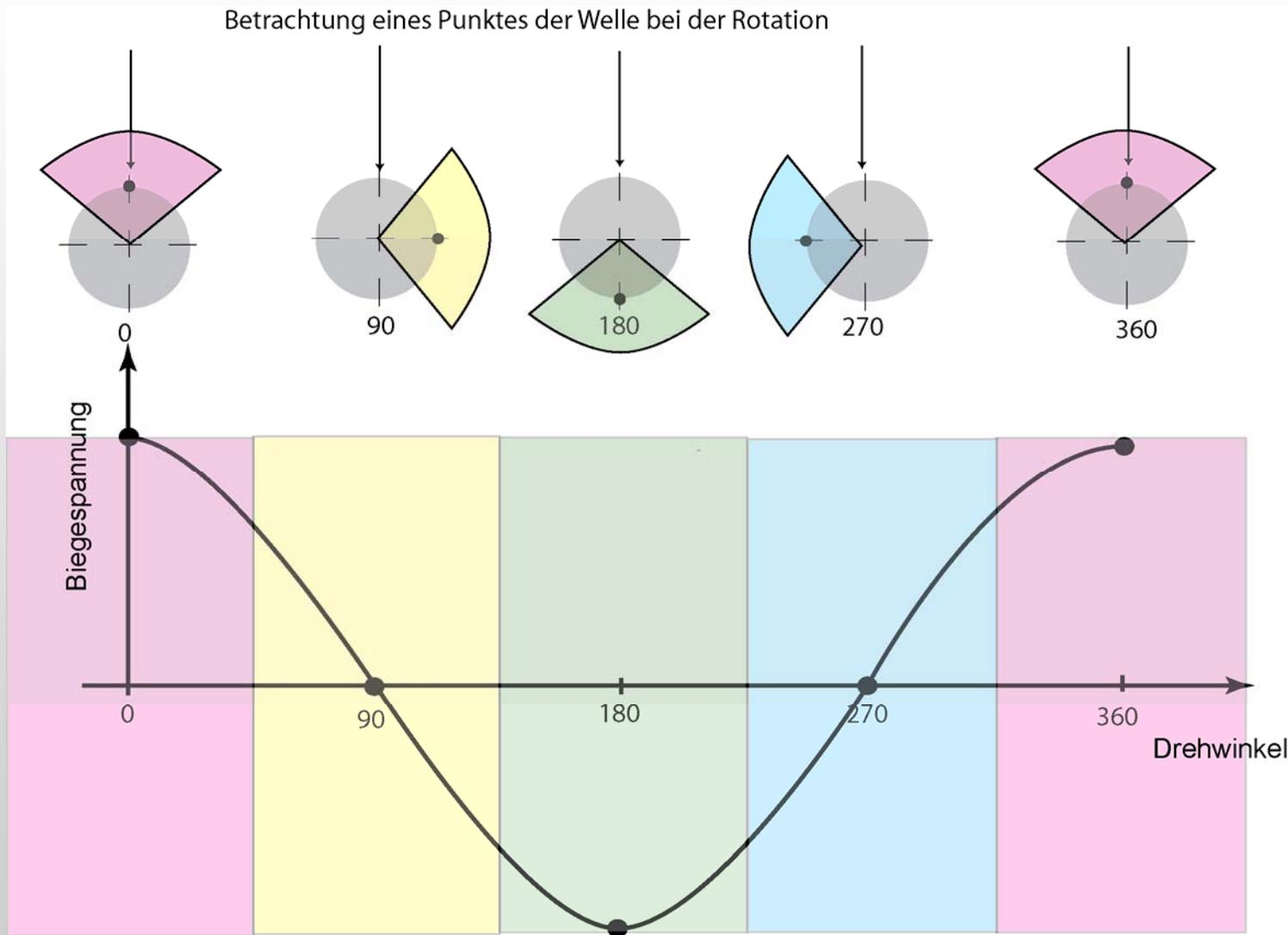
- Übersicht der Methoden zur Lebensdauerberechnung mit winLIFE
- Ermittlung der lokalen Beanspruchung im Bauteil durch Superposition und Skalierung statischer Einheitslastfälle unter Verwendung von (gemessenen) Last-Zeit-Funktionen unter Berücksichtigung von Kontakt und Rotation
  - nichtlineare Probleme (Kontakt)
  - [Rotation](#)
  - Beispiel: Getriebegehäuse einer WEA unter realistischen Lasten mit ANSYS und winLIFE
- Ermittlung der lokalen Beanspruchung durch transiente Berechnung mit MKS/FEM
  - Beispiel Off-Shore-WEA mit SAMCEF und winLIFE
- Zusammenfassung

# Lebensdauerabschätzung durch Superposition und Skalierung / Sonderproblem Rotation

Schnittmoment  $M$  über der Balkenlänge

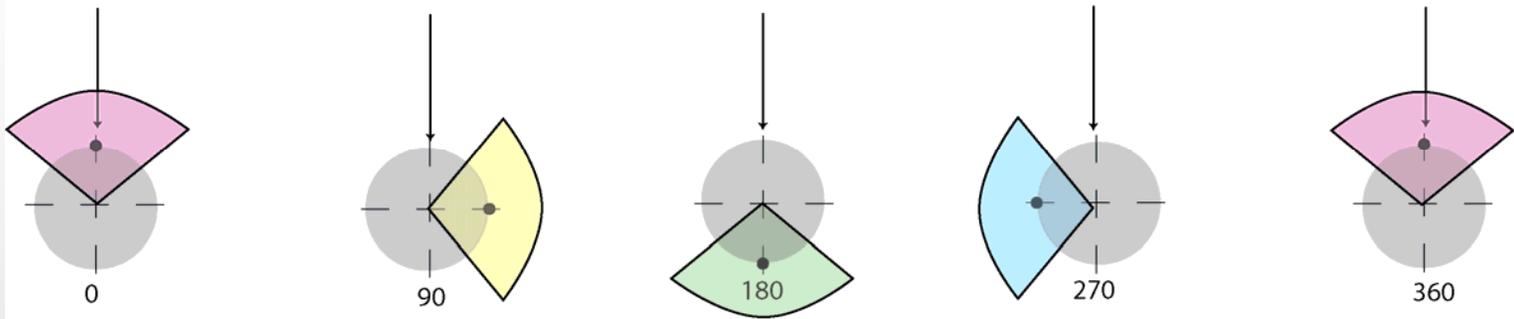


# Lebensdauerabschätzung durch Superposition und Skalierung / Sonderproblem Rotation

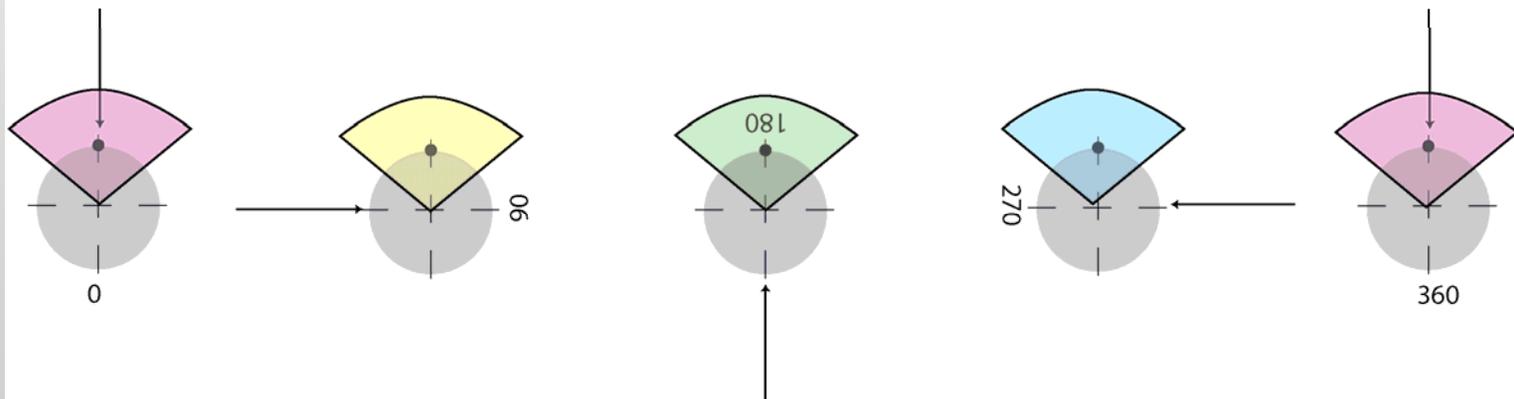


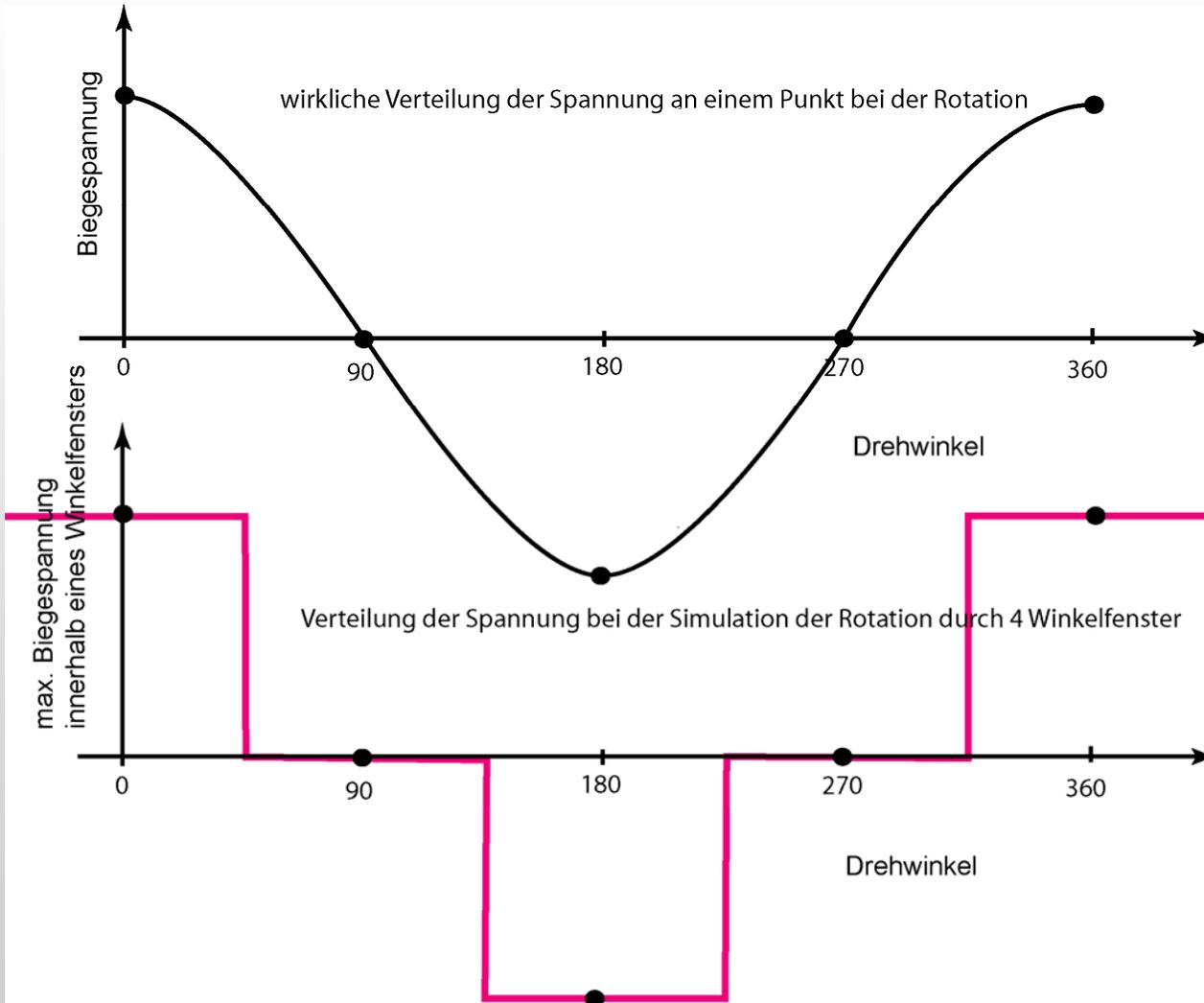
# Beanspruchungsermittlung durch Superposition und Skalierung / Rotation

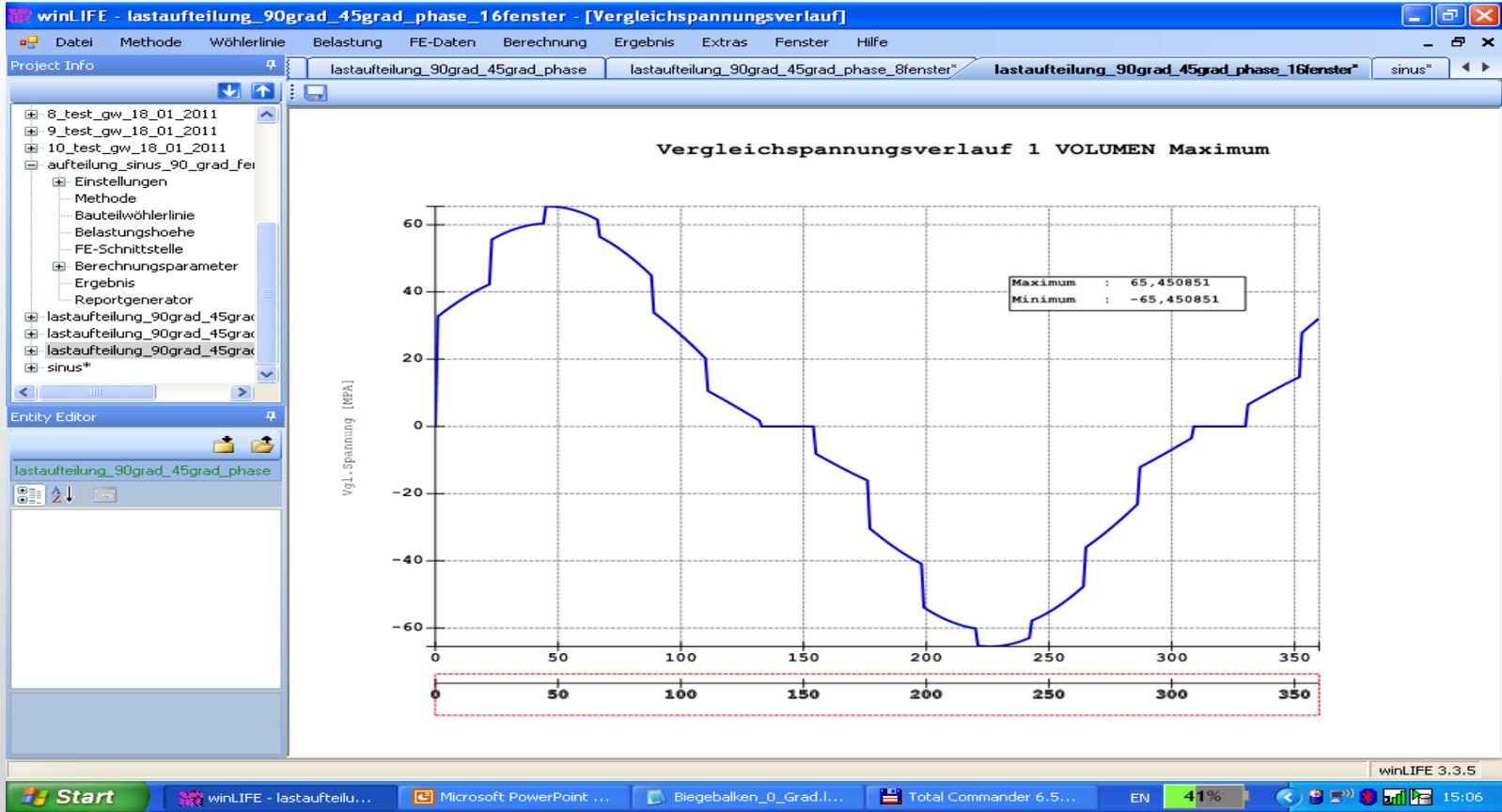
Betrachtung eines Punktes der Welle bei der Rotation durch einen ortsfesten Beobachter



Betrachtung eines Punktes der Welle bei der Rotation durch einen auf der Welle mitgeführten Beobachter



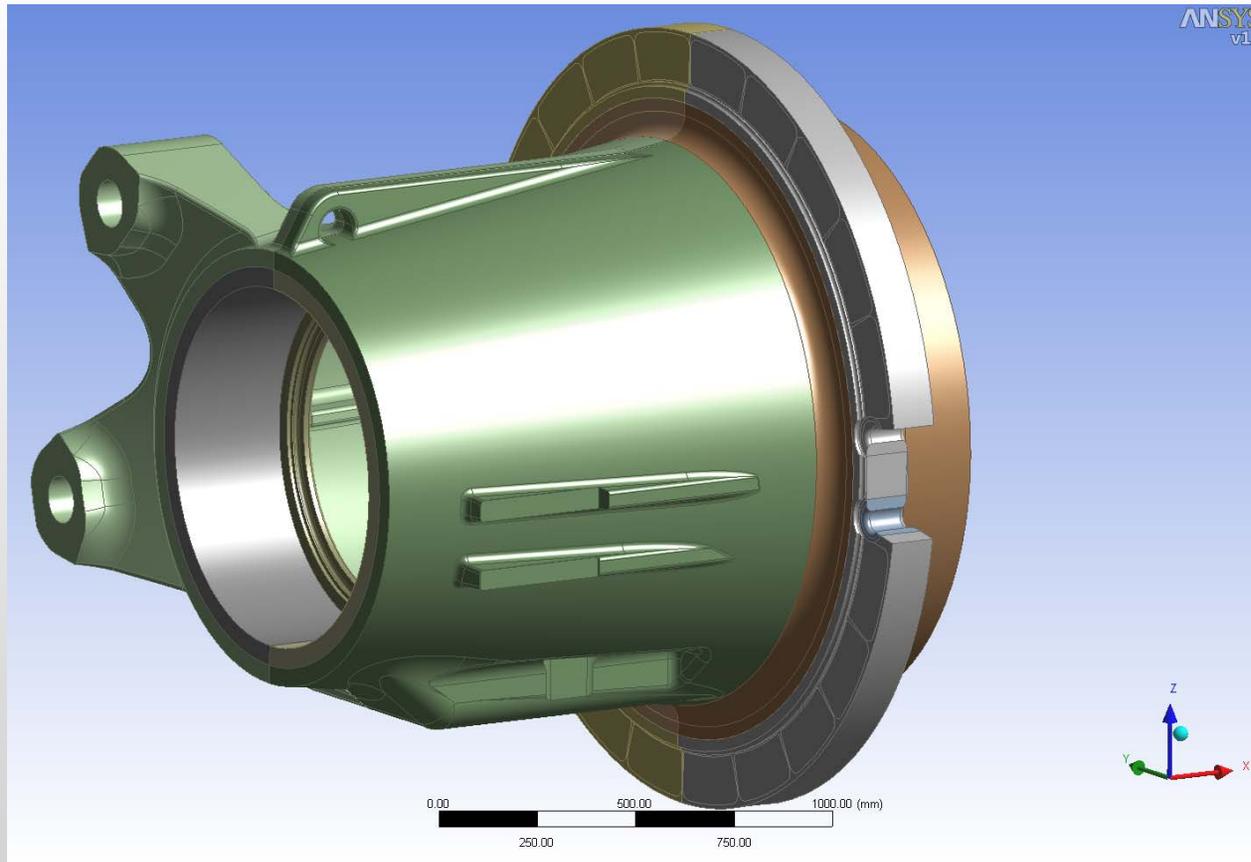




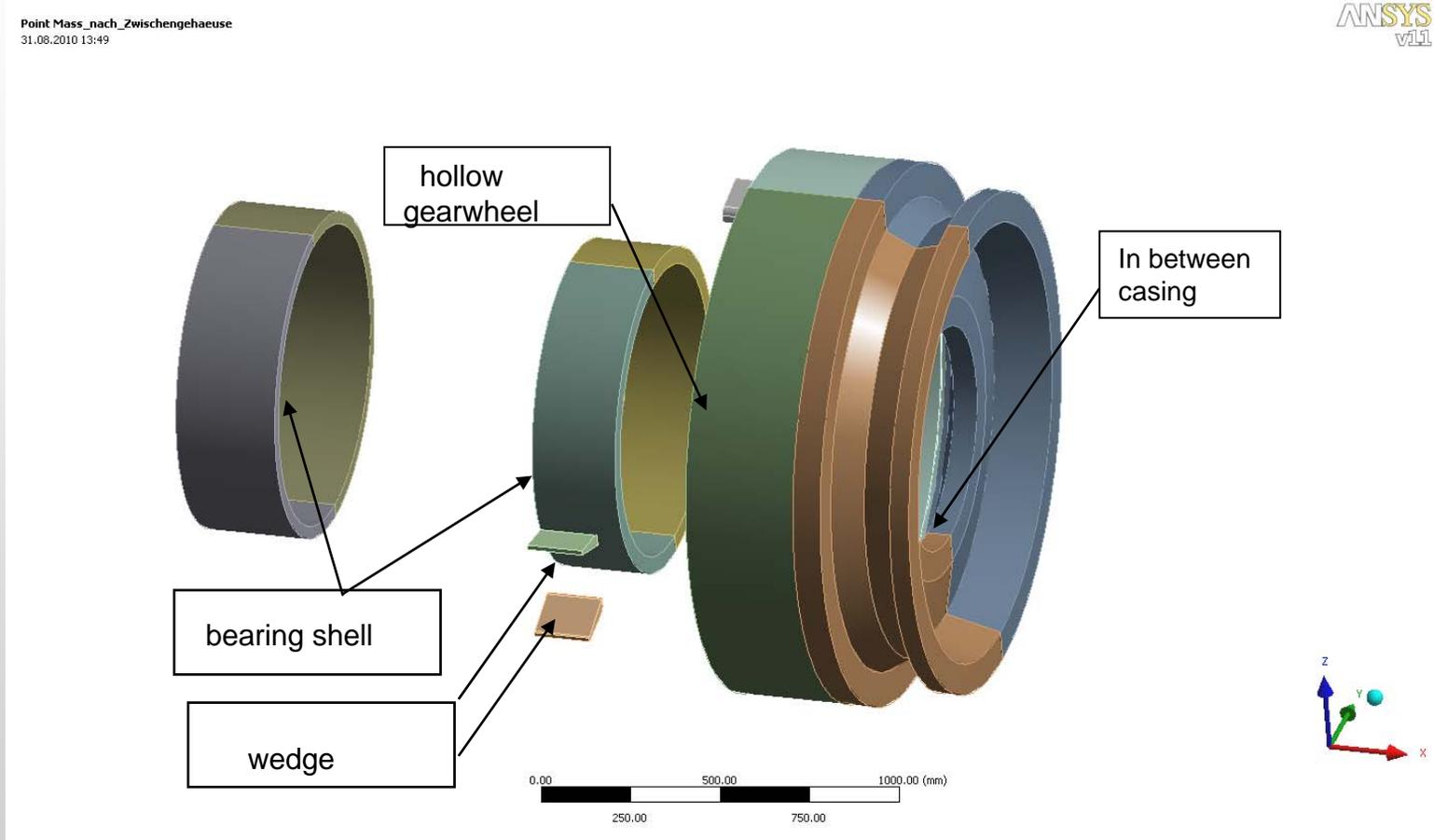
## Inhalt

- Übersicht der Methoden zur Lebensdauerberechnung mit winLIFE
- Ermittlung der lokalen Beanspruchung im Bauteil durch Superposition und Skalierung statischer Einheitslastfälle unter Verwendung von (gemessenen) Last-Zeit-Funktionen unter Berücksichtigung von Kontakt und Rotation
  - nichtlineare Probleme (Kontakt)
  - Rotation
  - [Beispiel: Getriebegehäuse einer WEA unter realistischen Lasten mit ANSYS und winLIFE](#)
- Ermittlung der lokalen Beanspruchung durch transiente Berechnung mit MKS/FEM
  - Beispiel Off-Shore-WEA mit SAMCEF und winLIFE
- Zusammenfassung

# Lebensdauerabschätzung durch Superposition und Skalierung / Beispiel Getriebegehäuse / CAD-Modell

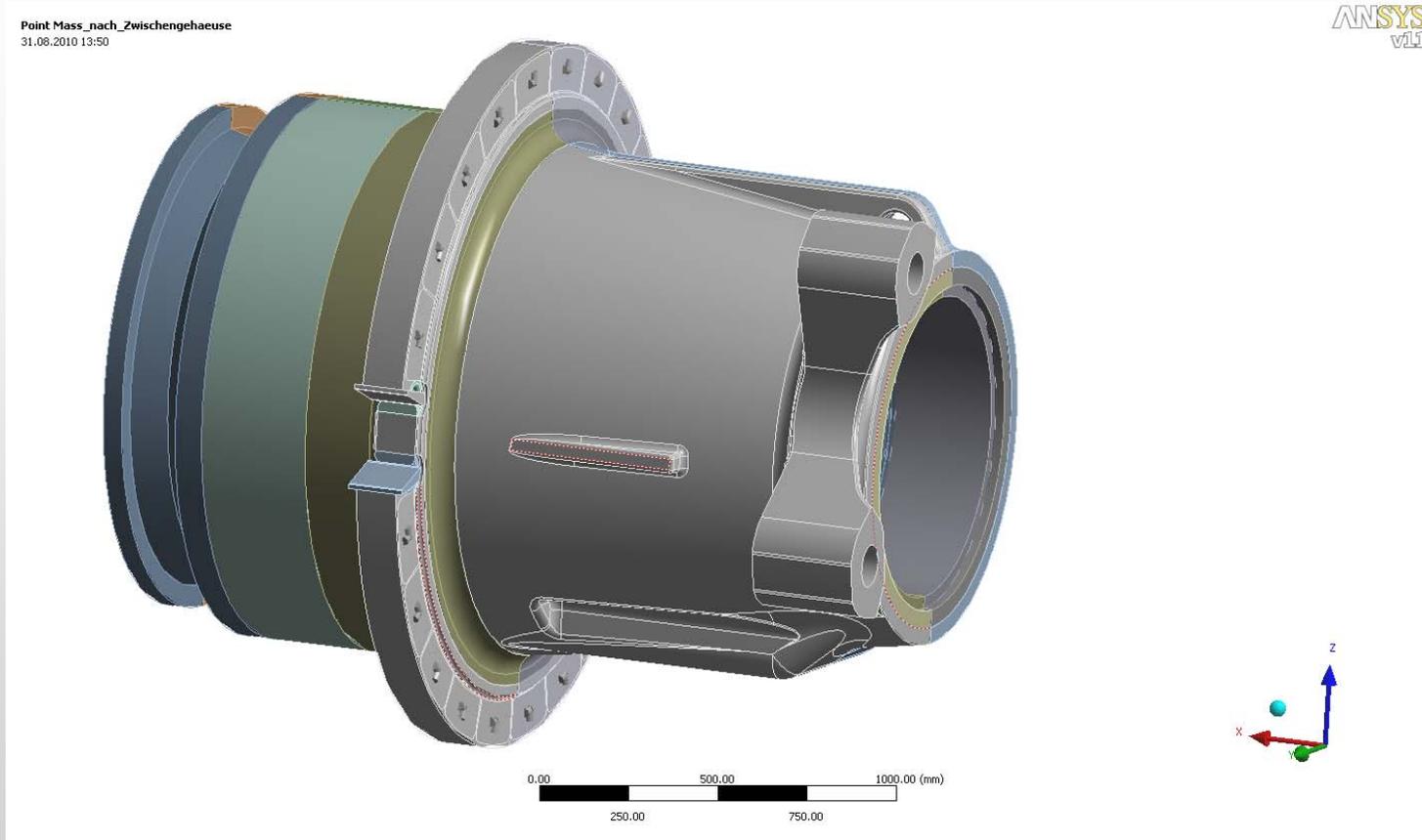


# Lebensdauerabschätzung durch Superposition und Skalierung / Getriebegehäuse / zusätzliche Komponenten



The additional components in an exploded view

# Lebensdauerabschätzung durch Superposition und Skalierung / Getriebegehäuse / zusätzliche Komponenten eingebaut



# Lebensdauerabschätzung durch Superposition und Skalierung / Getriebegehäuse / Lastumrechnung in das statische Ersatzsystem

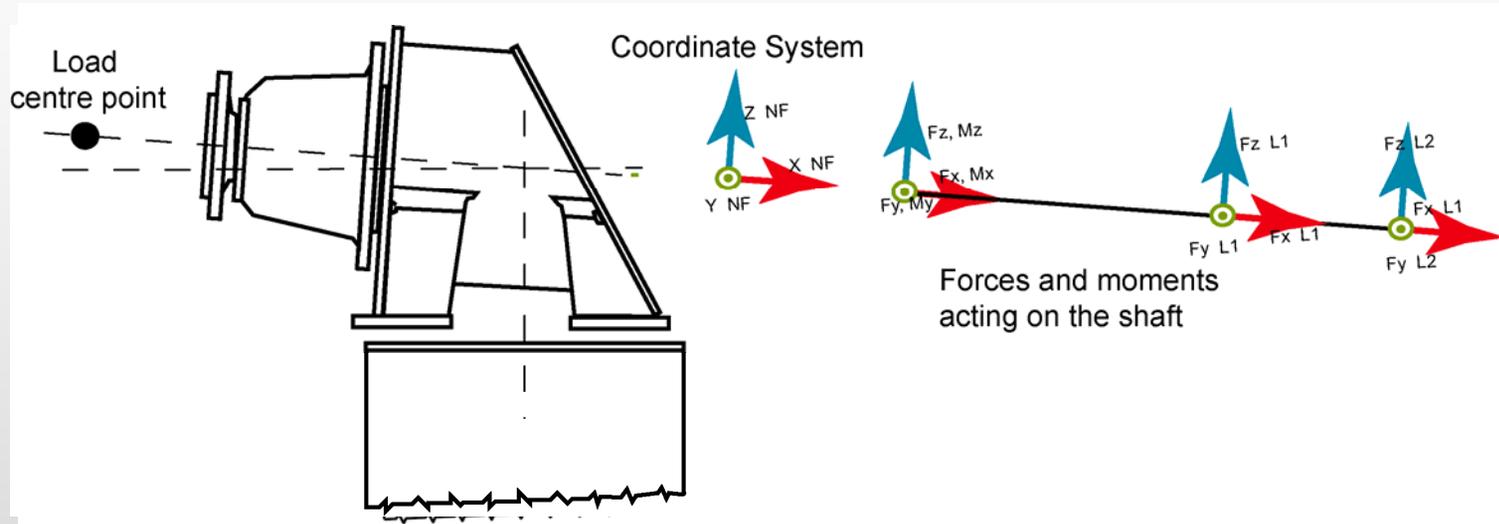


Figure 101-2: hub centre distance

**Abbildung 2:** Statisches Ersatzsystem mit Lasteinleitung im Rotornabe und den Lagern

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| $F_x, F_y, F_z$             | Lastenkräfte in der Rotornabe  |
| $M_x, M_y, M_z$             | Lastenmomente in der Rotornabe   |
| $F_{xL1}, F_{yL1}, F_{zL1}$ | Reaktionskräfte im Pendelrollenlager                                     |
| $F_{xL2}, F_{yL2}, F_{zL2}$ | Reaktionskräfte im Zylinderrollenlager, wobei $F_{xL2}=0$ ist            |
| $L_{RL1}$                   | Abstand Rotornabe bis Mitte Pendelrollenlager = 1742mm                   |
| $L_{L1L2}$                  | Abstand Mitte Pendelrollenlager bis Mitte Zylinderrollenlager = 1020,5mm |

**Tabelle 6:** Formelzeichen für die Lastumrechnung

## Lebensdauerabschätzung durch Superposition und Skalierung / Getriebegehäuse / Berechnung der äquivalenten Lagerkräfte

Die Berechnung der einzelnen Lagerkräfte erfolgt nach folgenden Formeln:

$$F_{xL1} = F_x$$

$$F_{yL1} = - \frac{M_z - F_y (L_{RL1} + L_{L1L2})}{L_{L1L2}}$$

$$F_{zL1} = - \frac{M_y - F_z (L_{RL1} + L_{L1L2})}{L_{L1L2}}$$

$$F_{xL2} = 0$$

$$F_{yL2} = F_y - F_{yL1}$$

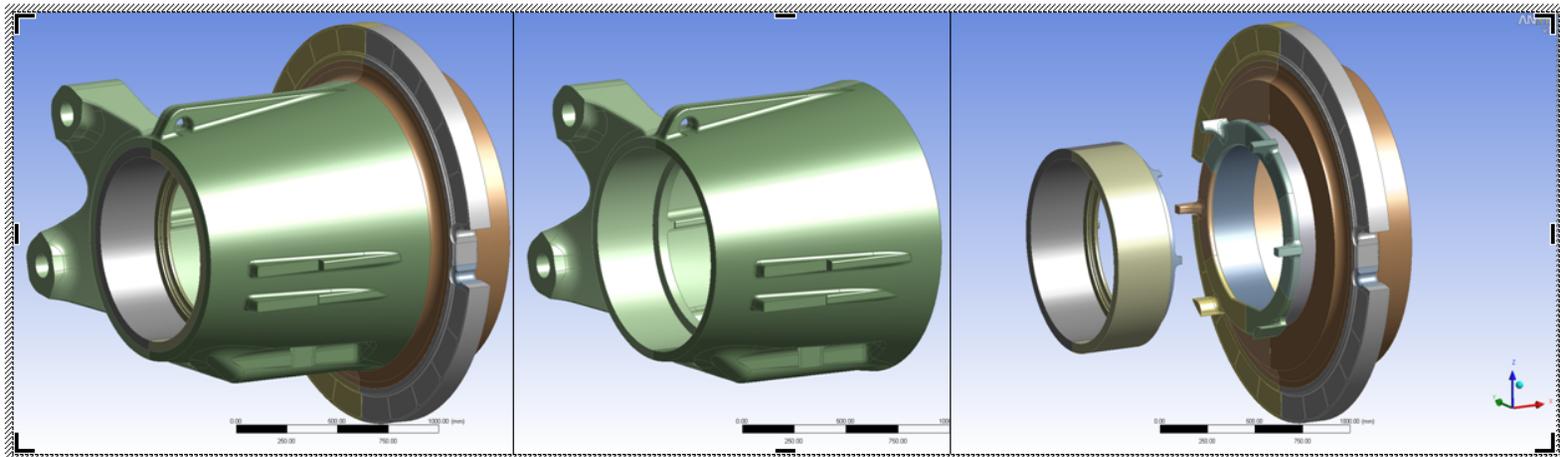
$$F_{zL2} = F_z - F_{zL1}$$

Das Drehmoment  $M_x$  wird über das Hohlrاد abgestützt.

# Lebensdauerabschätzung durch Superposition und Skalierung / Getriebegehäuse / Vorbereitung der Geometrie für die FE Vernetzung

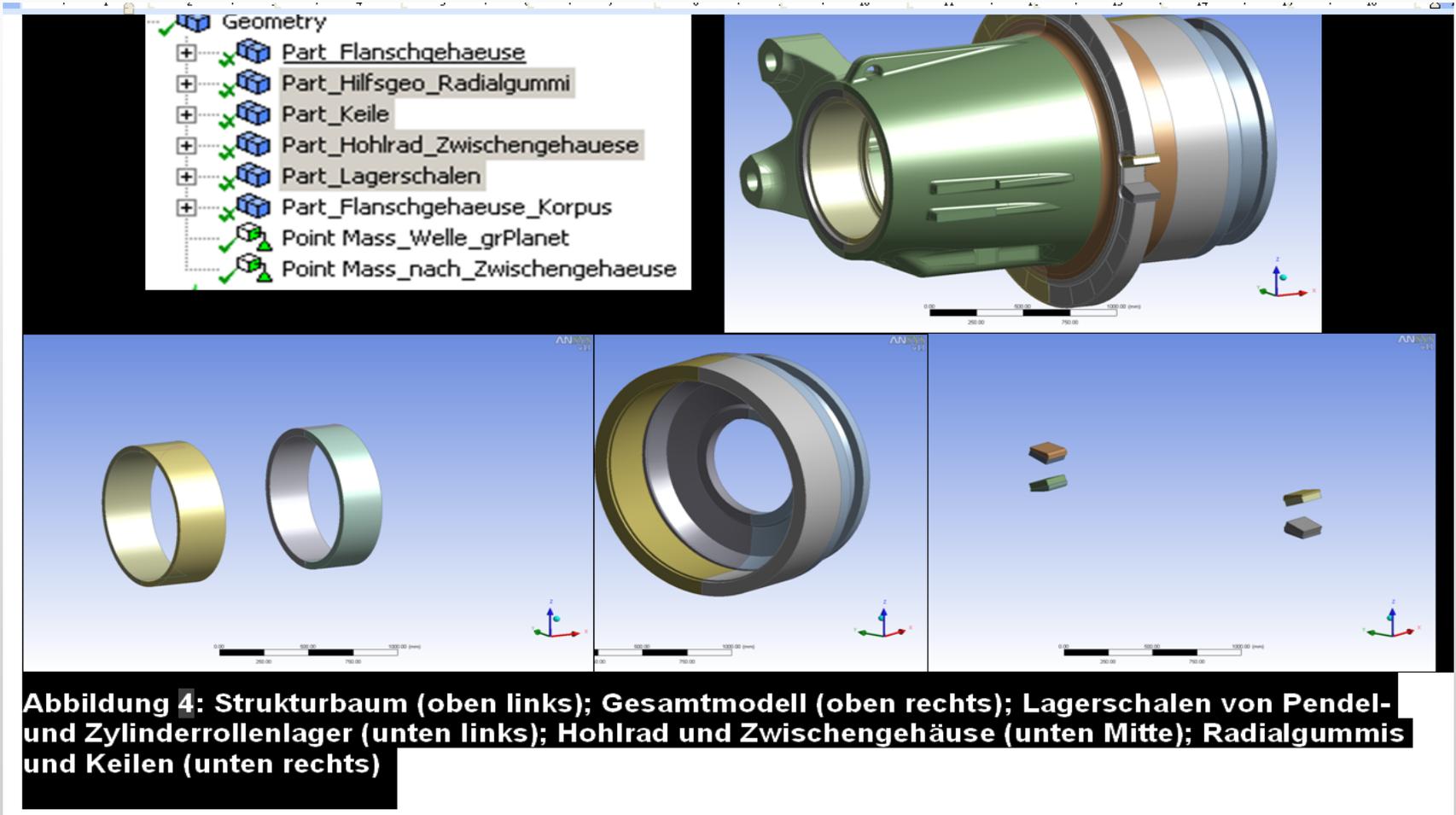
## 2.3 Geometriaufbereitung

- Entfernung aller für die Berechnung unnötigen Bohrungen am Flanschgehäuse.
- Aufteilung des Bauteils in Flanschgehäuse und Flanschgehäusekorpus, um eine bessere Vernetzung zu erreichen (siehe Kapitel 2.4).



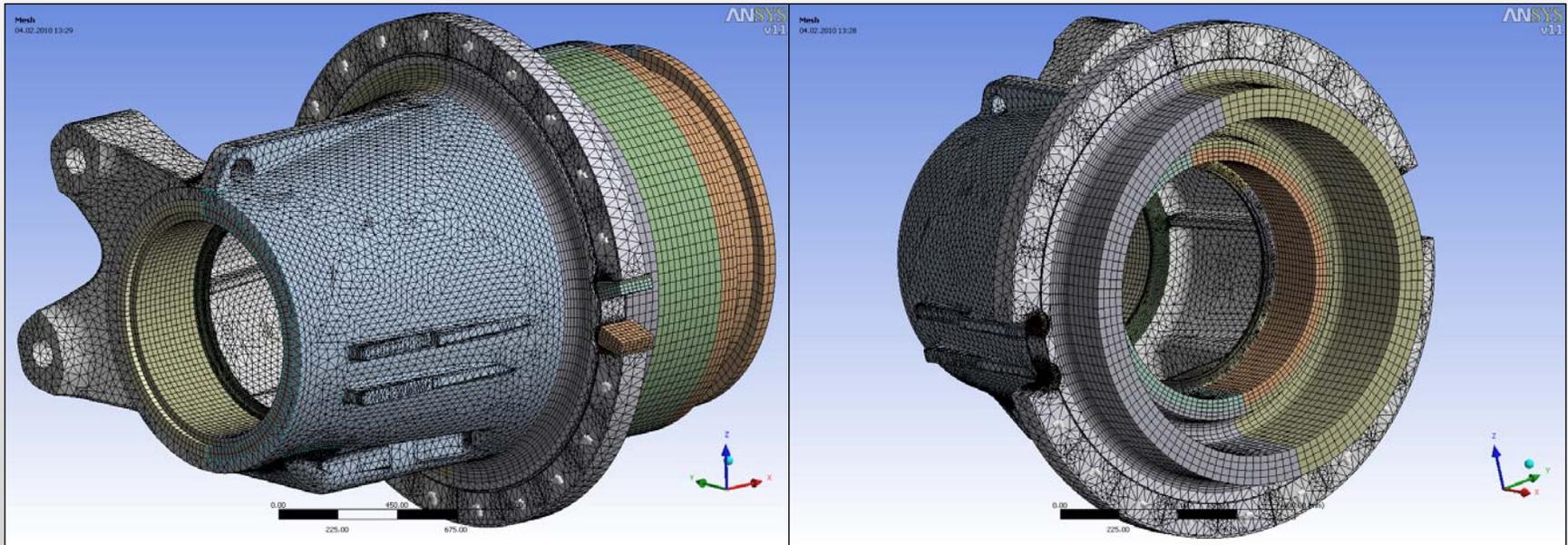
**Abbildung 3:** Flanschgehäuse gesamt (links); Flanschgehäuse Korpus (Mitte); Flanschgehäuse (rechts)

# Lebensdauerabschätzung durch Superposition und Skalierung / Getriebegehäuse / Vorbereitung der Teile des Modells

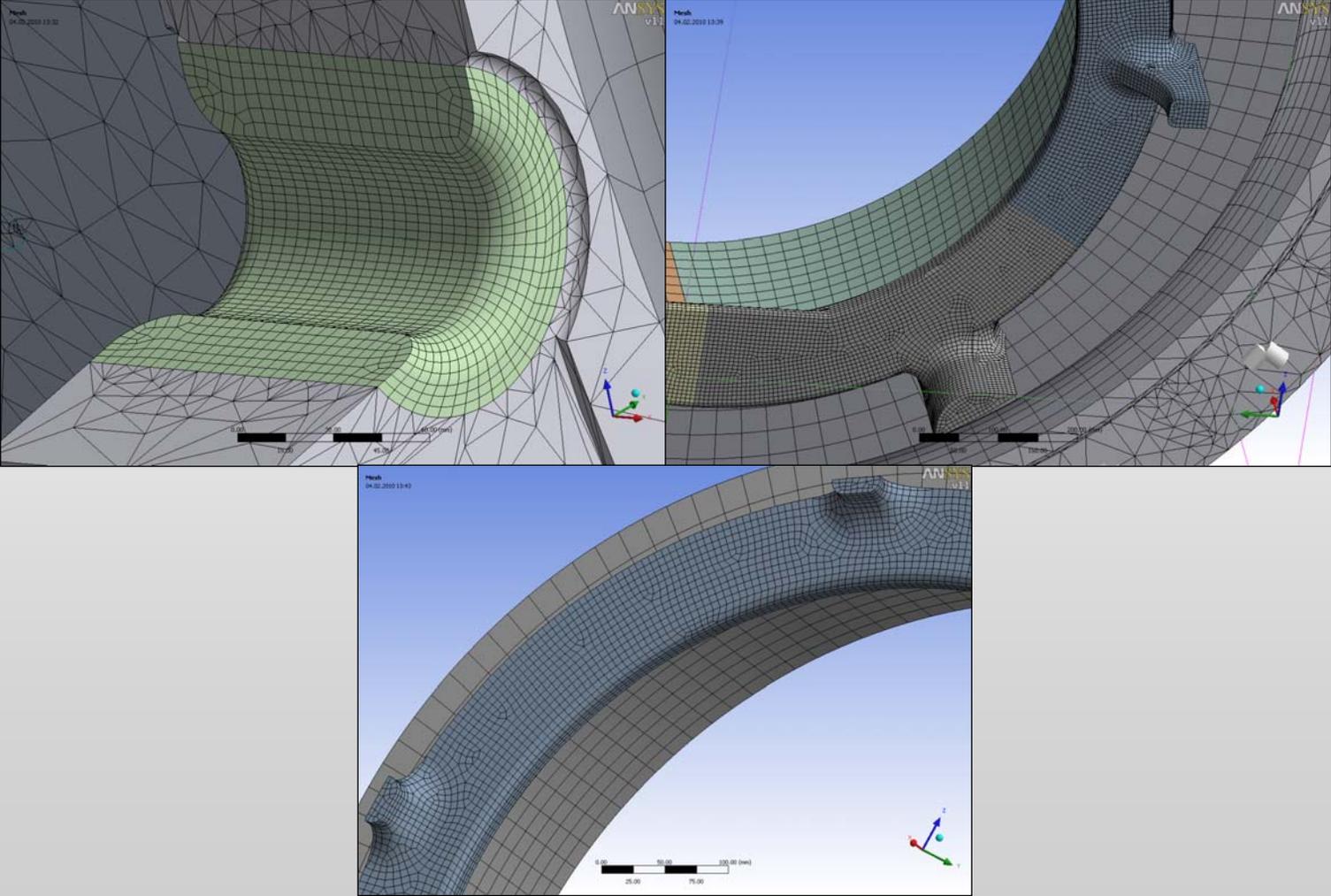


Bitte übersetzen /

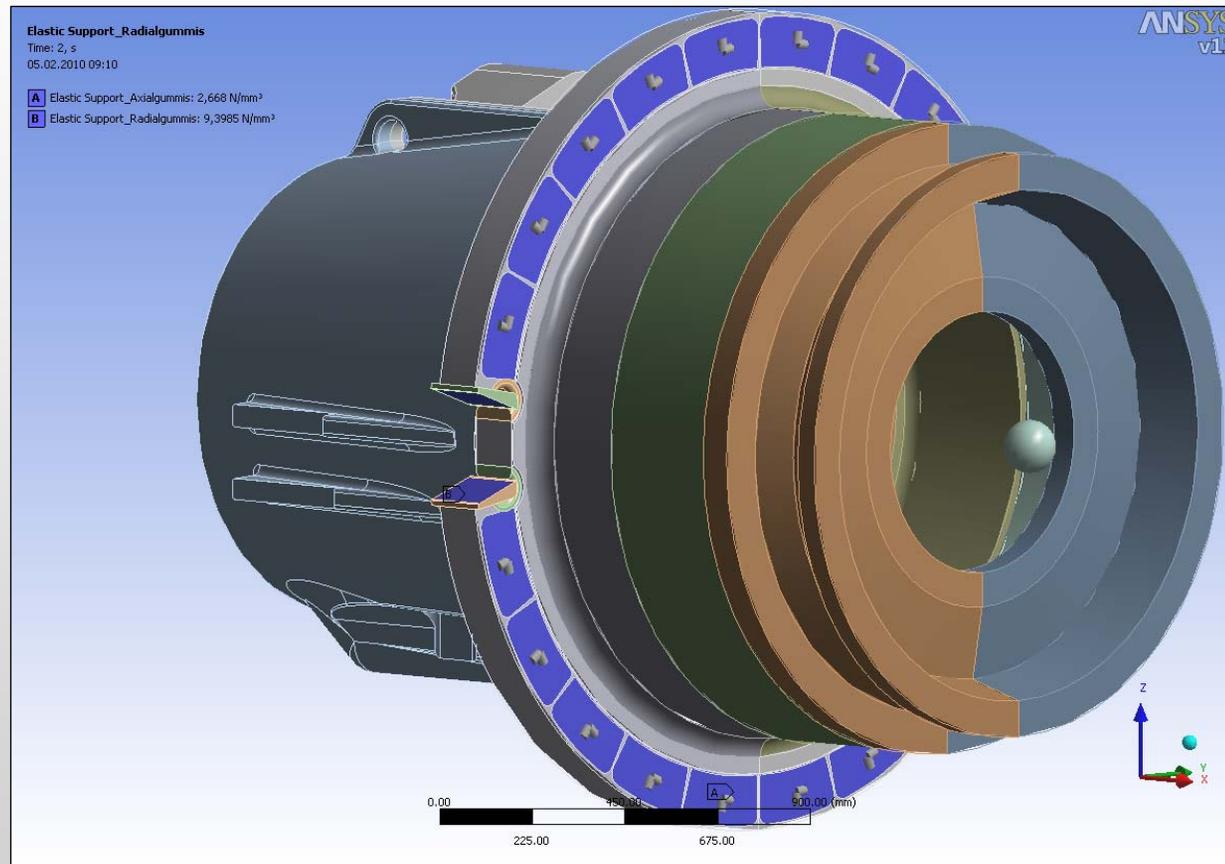
# Lebensdauerabschätzung durch Superposition und Skalierung / Getriebegehäuse / Verbindung der Teile des Modells durch „Kleben“



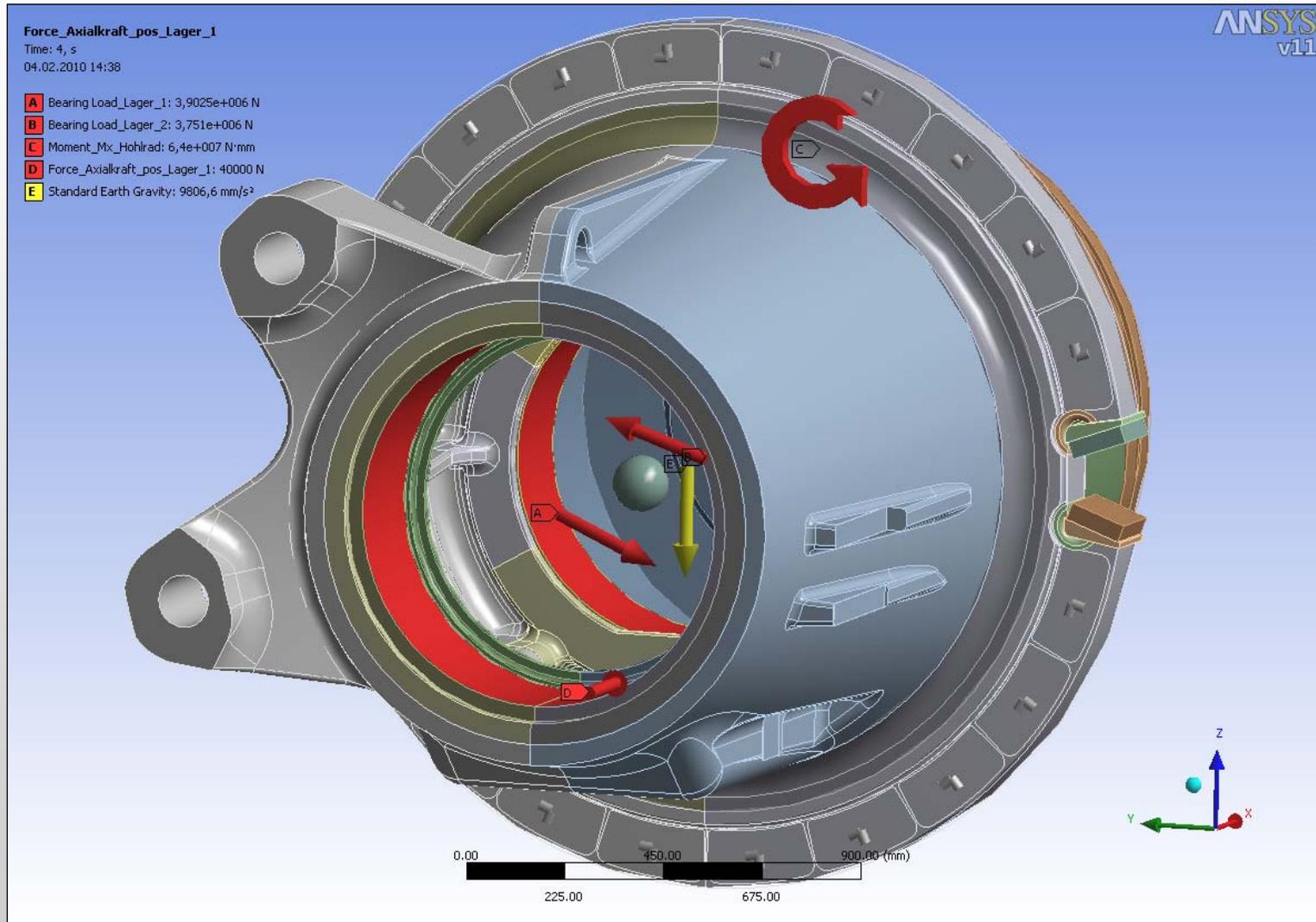
# Lebensdauerabschätzung durch Superposition und Skalierung / Getriebegehäuse / Details des Netzes



# Lebensdauerabschätzung durch Superposition und Skalierung / Getriebegehäuse / Randbedingungen



# Lebensdauerabschätzung durch Superposition und Skalierung / Getriebegehäuse / Kräfte, Momente und Gewichtskraft

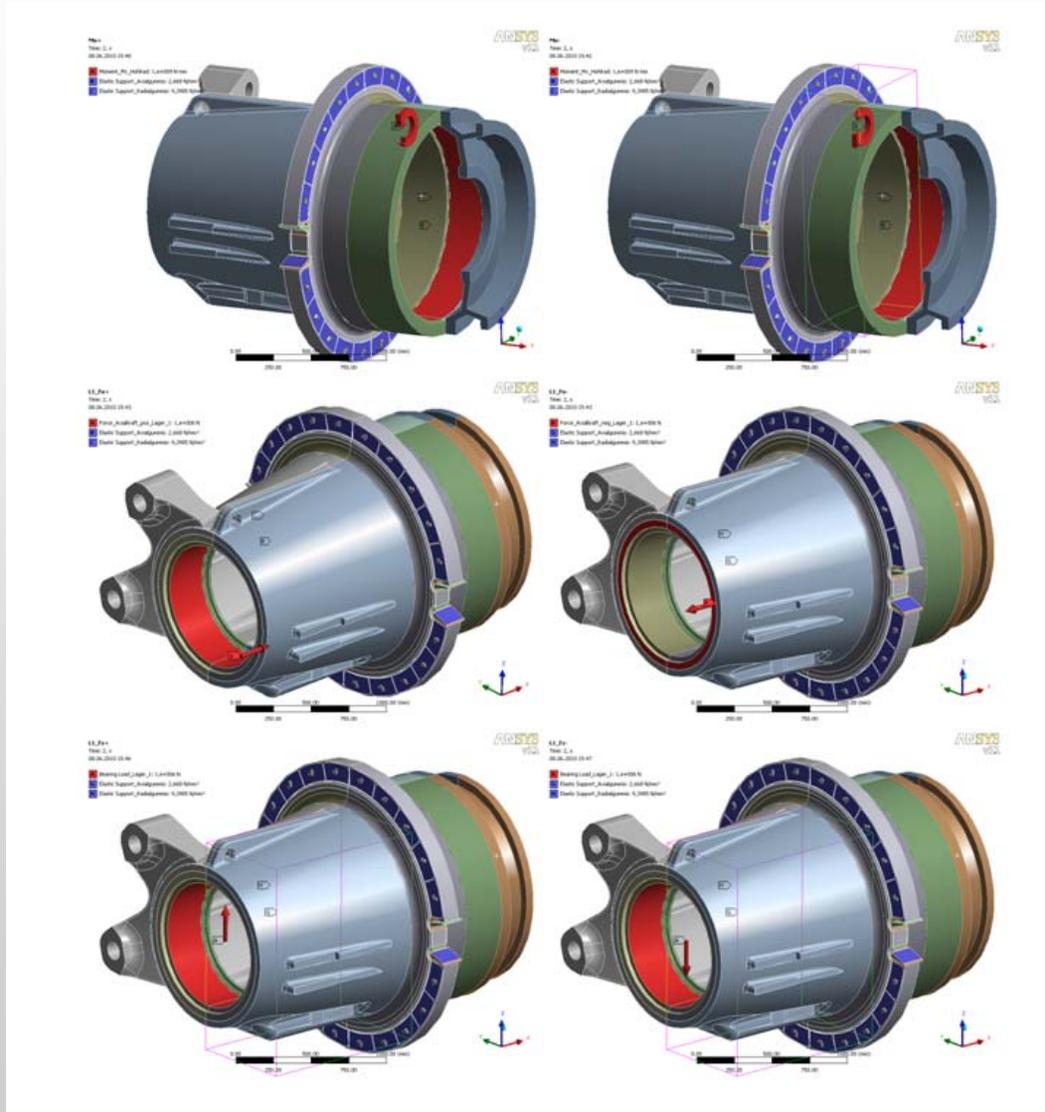


## Lebensdauerabschätzung durch Superposition und Skalierung / Getriebegehäuse / Einheitslastfälle

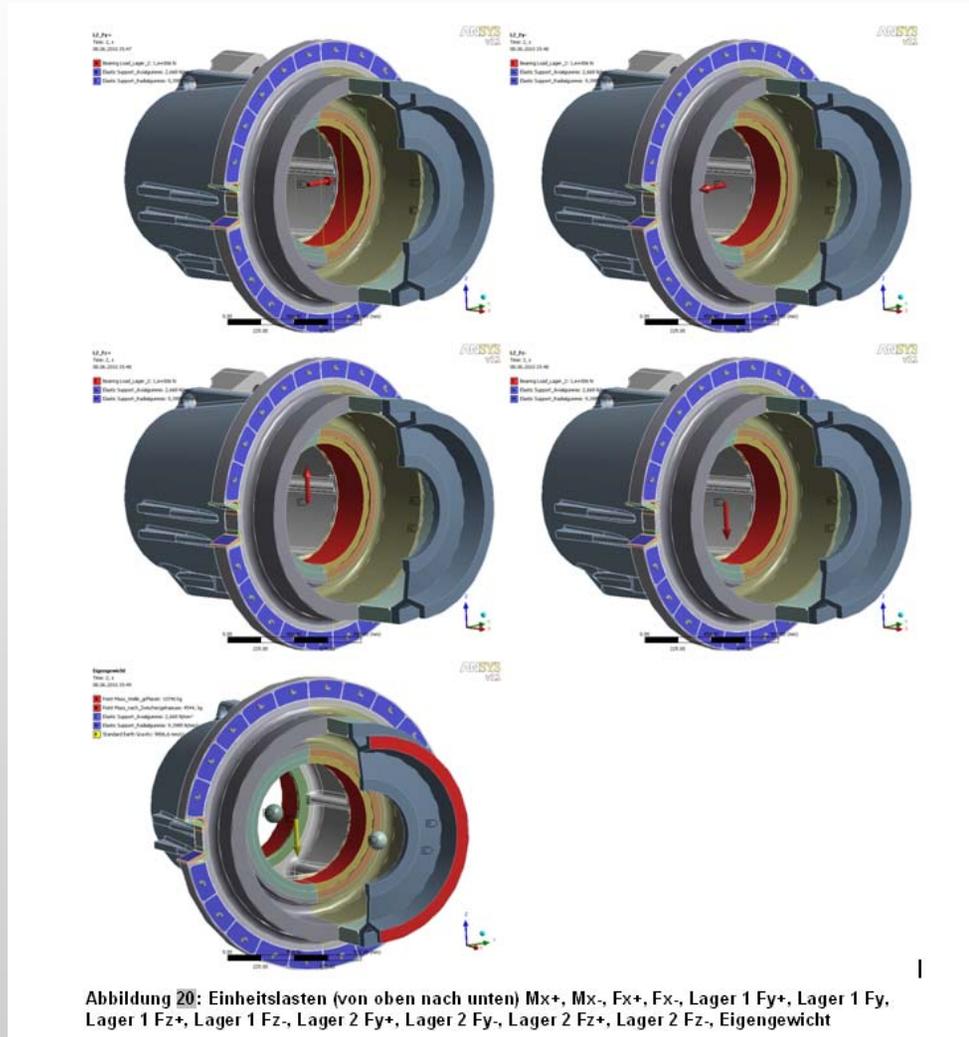
---

- **$M_{x+}$ ,  $M_{x-}$ ,  $F_{x+}$ ,  $F_{x-}$ ,**
- **Lager 1:**  
 **$F_{y+}$ ,  $F_{y-}$ ,  $F_{z+}$ ,  $F_{z-}$ ,**
- **Lager 2:**  
 **$F_{y+}$ ,  $F_{y-}$ ,  $F_{z+}$ ,  $F_{z-}$ ,**
- **Gewichtskraft**

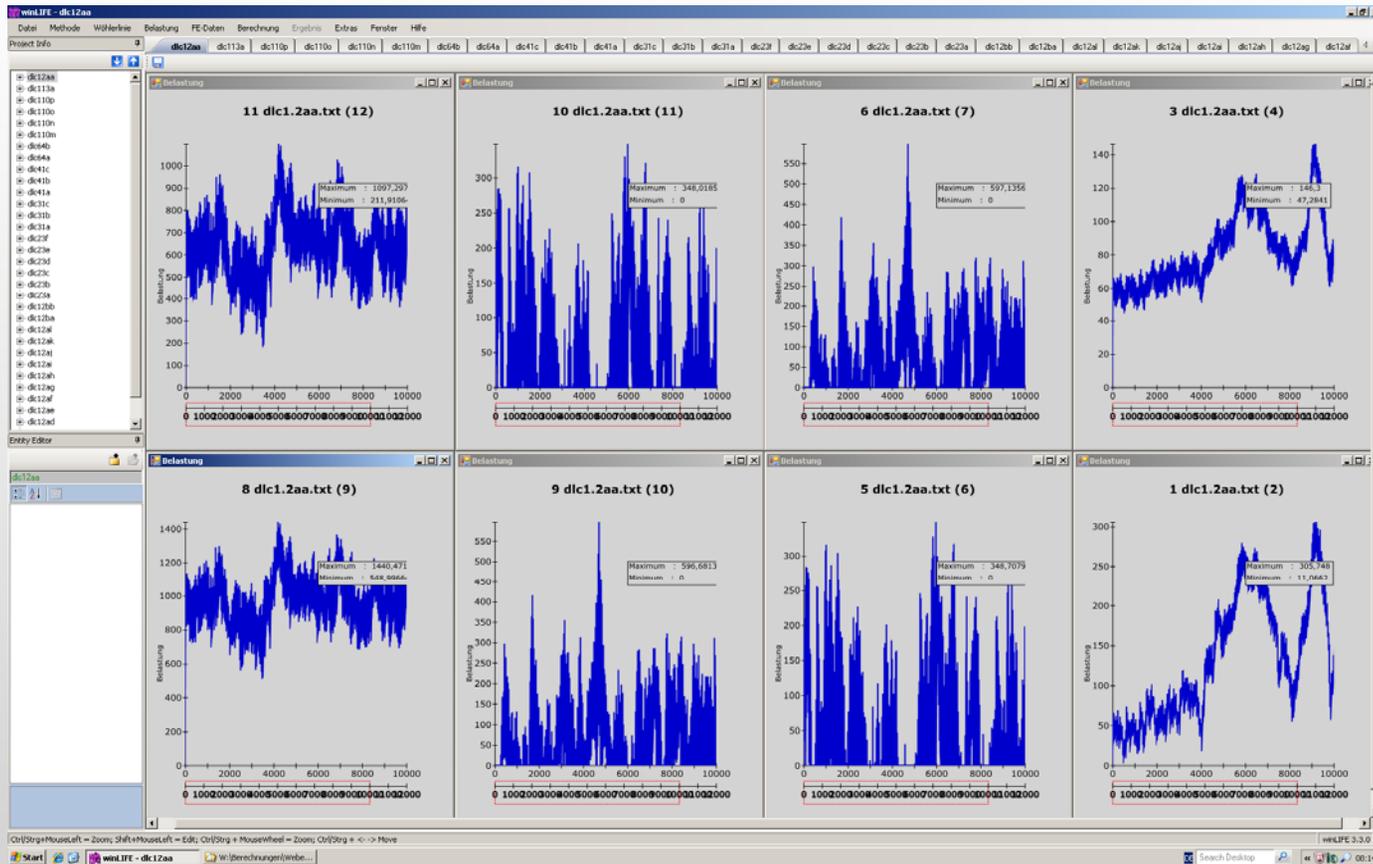
# Lebensdauerabschätzung durch Superposition und Skalierung / Getriebegehäuse / Einheitslastfälle



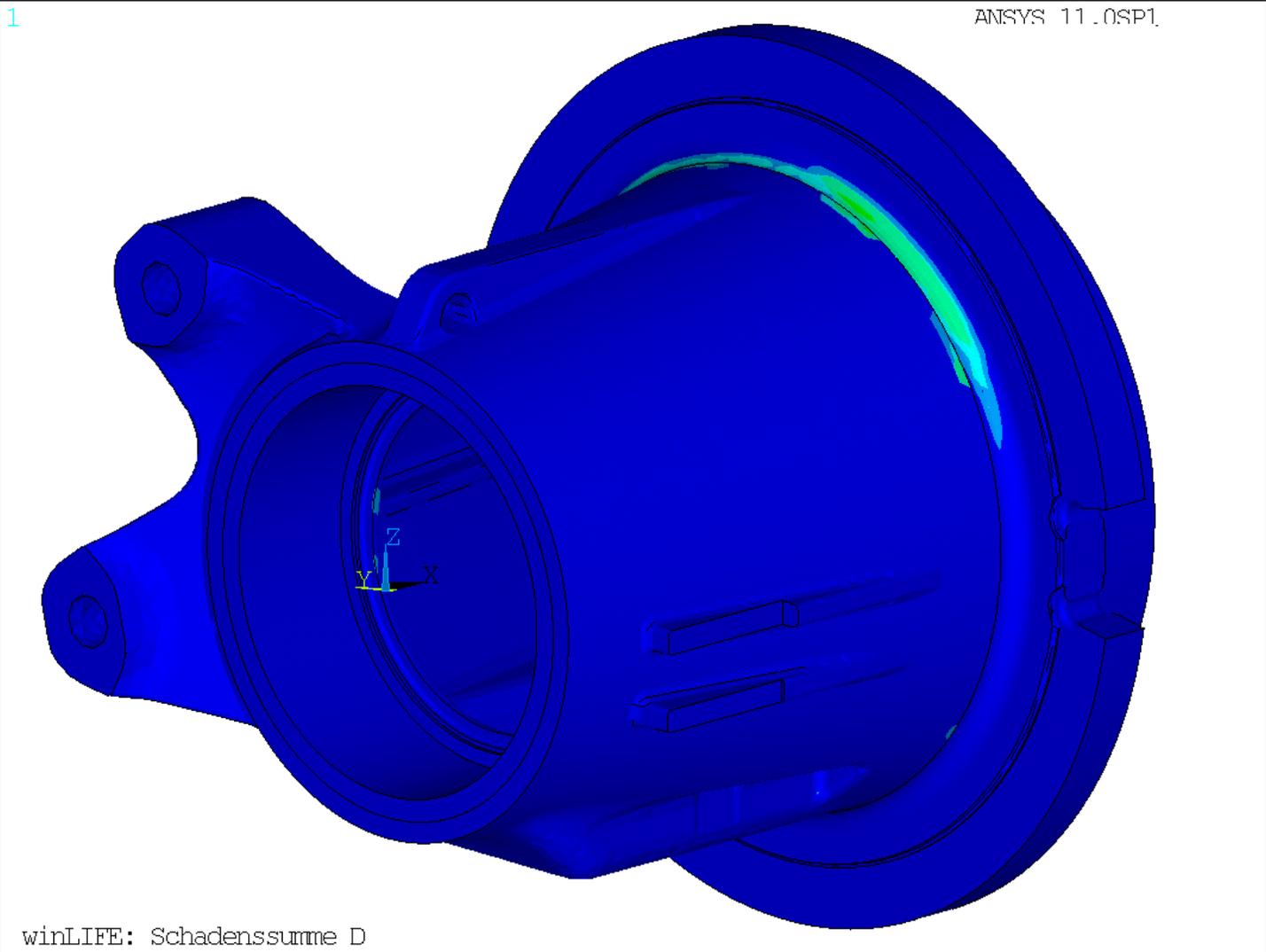
# Lebensdauerabschätzung durch Superposition und Skalierung / Getriebegehäuse / Einheitslastfälle



# Lebensdauerabschätzung durch Superposition und Skalierung / Getriebegehäuse / Last-Zeitfunktionen (aufgeteilt entsprechend der Einheitslastfälle)

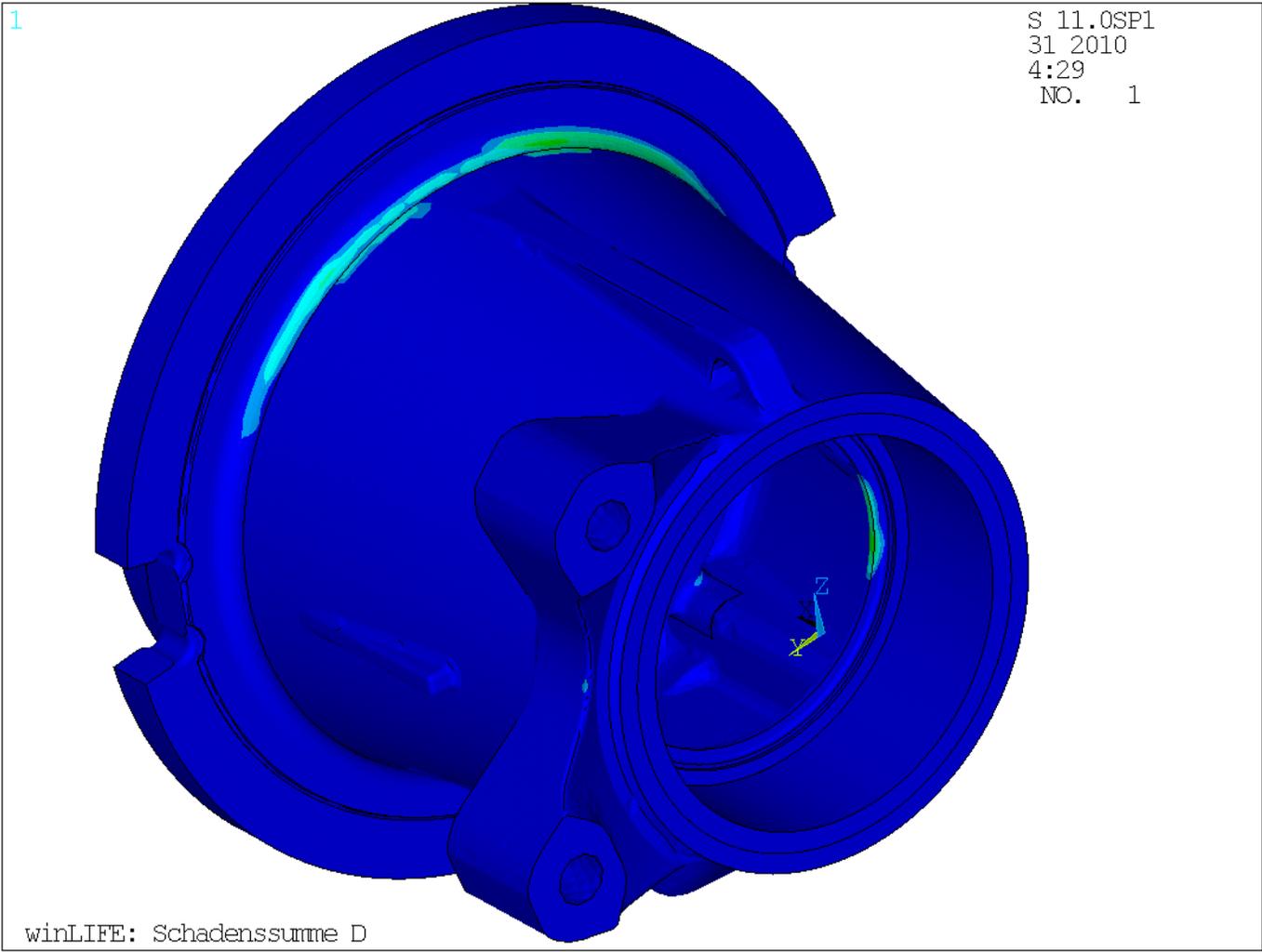


# Lebensdauerabschätzung durch Superposition und Skalierung / Results / Damage

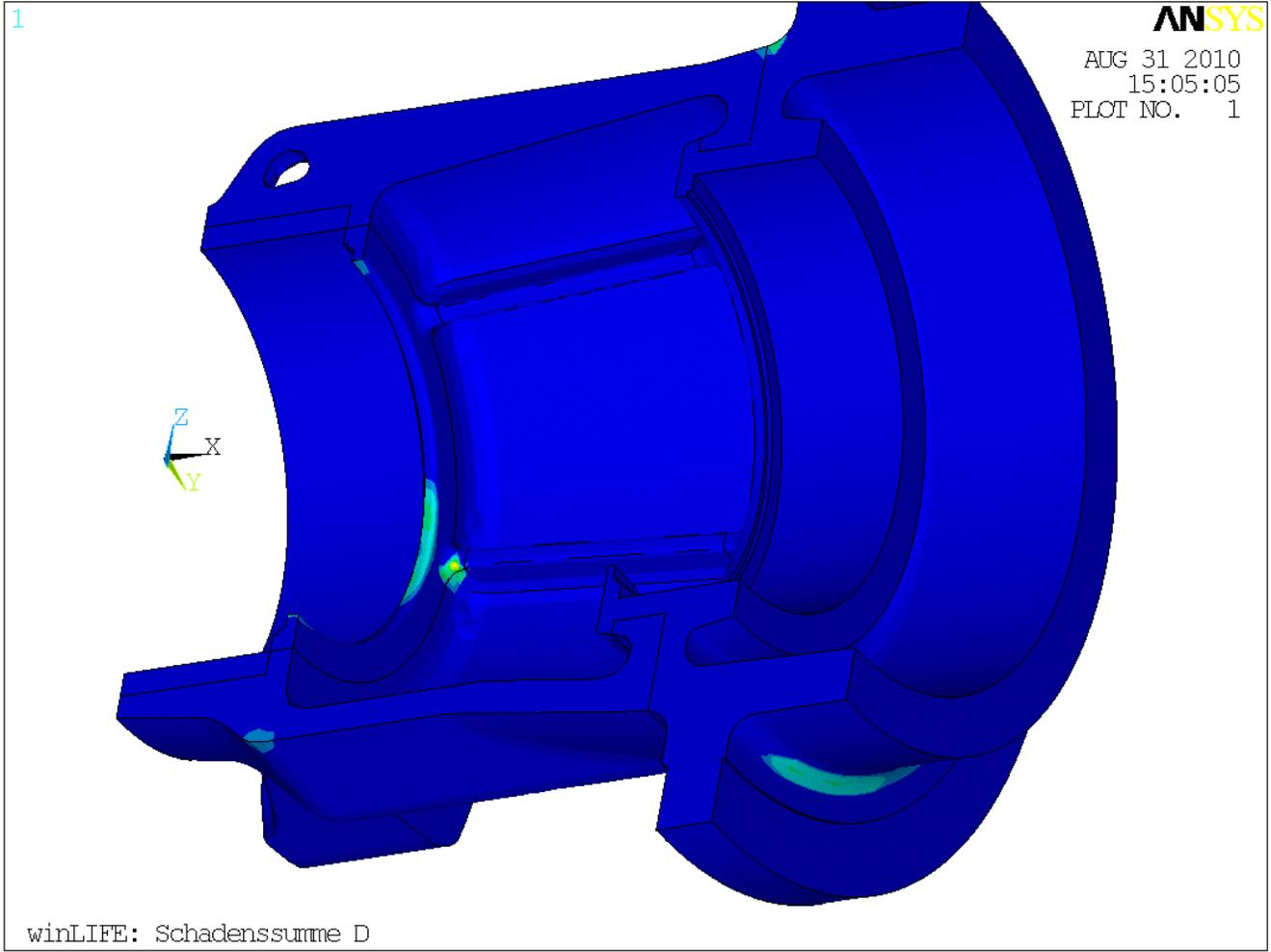


winLIFE: Schadenssumme D

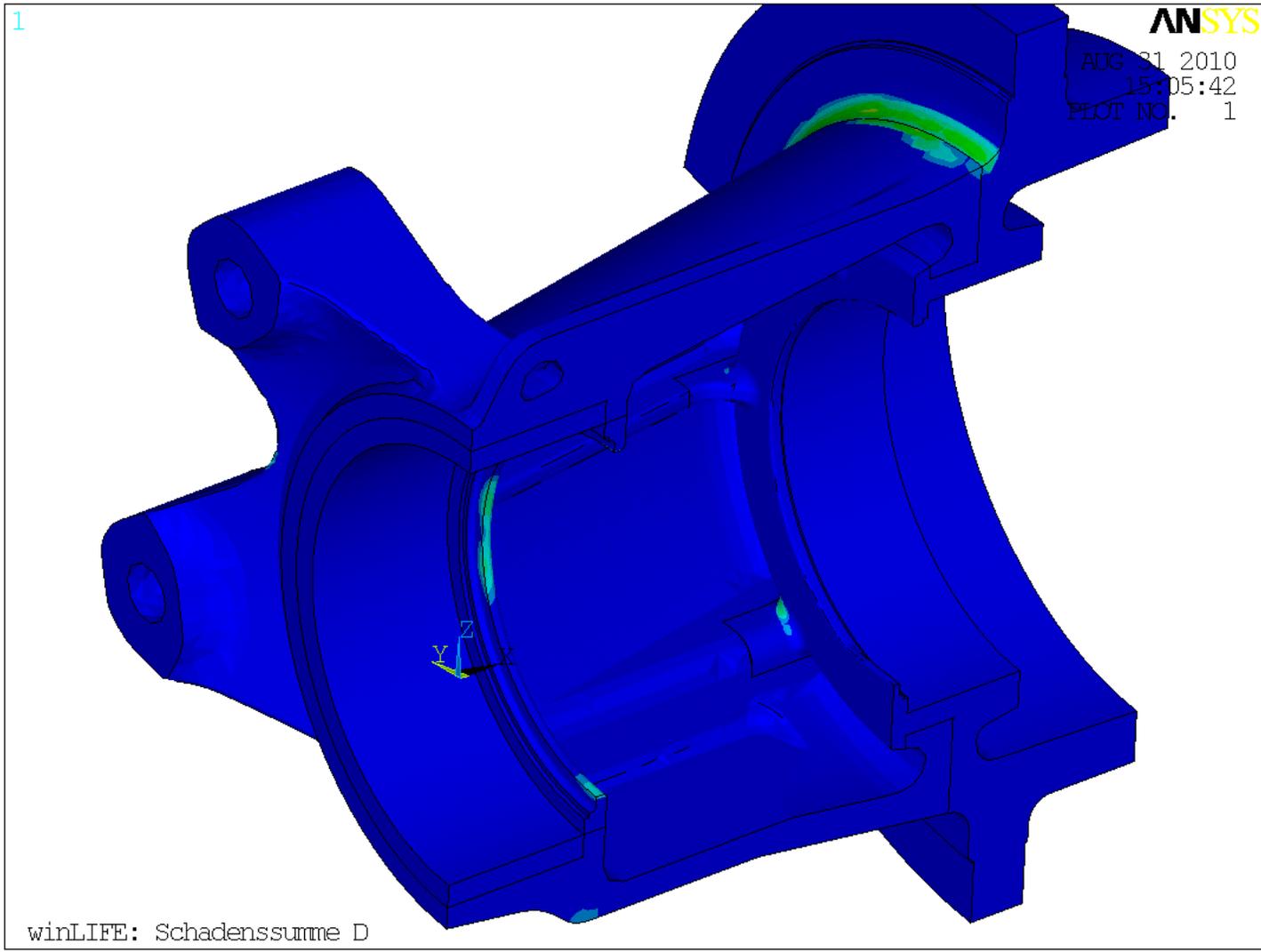
# Lebensdauerabschätzung durch Superposition und Skalierung / Results / Damage



# Lebensdauerabschätzung durch Superposition und Skalierung / Results / Damage



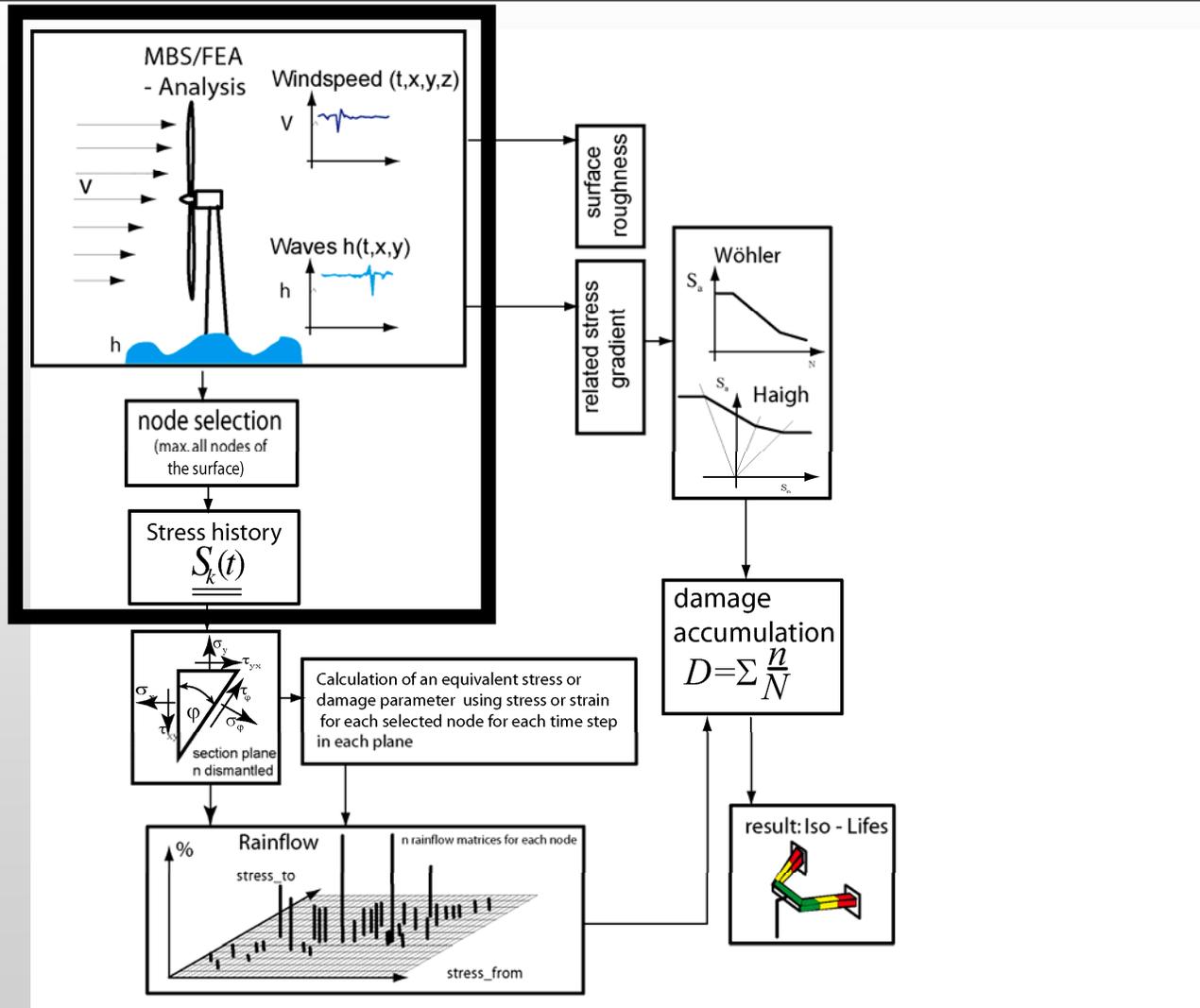
# Lebensdauerabschätzung durch Superposition und Skalierung / Results / Damage



## Inhalt

- Übersicht der Methoden zur Lebensdauerberechnung mit winLIFE
- Ermittlung der lokalen Beanspruchung im Bauteil durch Superposition und Skalierung statischer Einheitslastfälle unter Verwendung von (gemessenen) Last-Zeit-Funktionen unter Berücksichtigung von Kontakt und Rotation
  - nichtlineare Probleme (Kontakt)
  - Rotation
  - Beispiel: Getriebegehäuse einer WEA unter realistischen Lasten mit ANSYS und winLIFE
- Ermittlung der lokalen Beanspruchung durch transiente Berechnung mit MKS/FEM
  - Beispiel Off-Shore-WEA mit SAMCEF und winLIFE
- Zusammenfassung

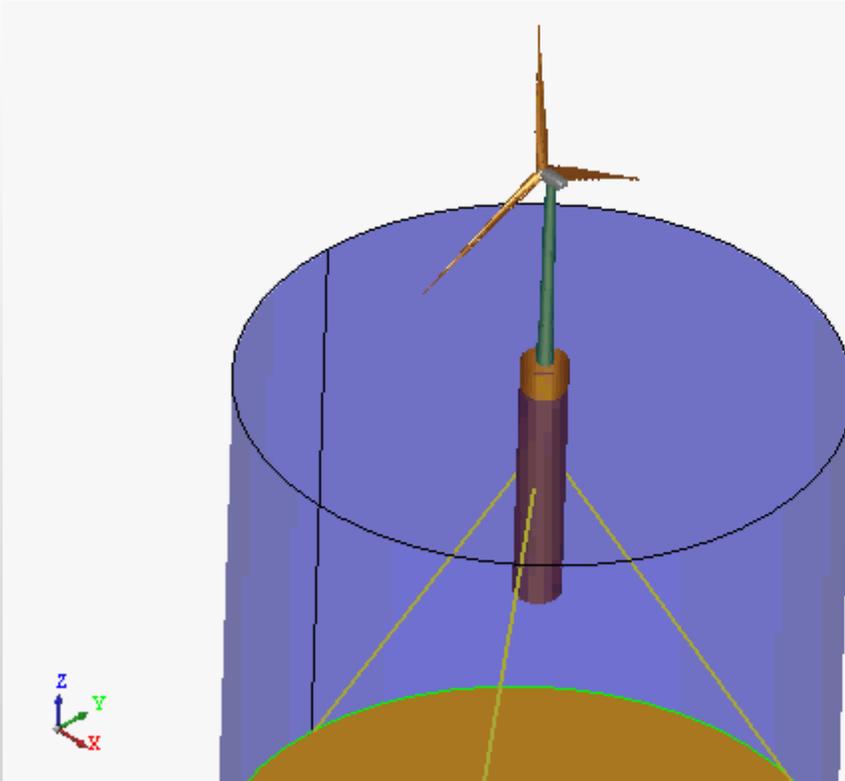
# Lebensdauerabschätzung durch MKS/FEM-Simulation / Übersicht



## Inhalt

- Übersicht der Methoden zur Lebensdauerberechnung mit winLIFE
- Ermittlung der lokalen Beanspruchung im Bauteil durch Superposition und Skalierung statischer Einheitslastfälle unter Verwendung von (gemessenen) Last-Zeit-Funktionen unter Berücksichtigung von Kontakt und Rotation
  - nichtlineare Probleme (Kontakt)
  - Rotation
  - Beispiel: Getriebegehäuse einer WEA unter realistischen Lasten mit ANSYS und winLIFE
- Ermittlung der lokalen Beanspruchung durch transiente Berechnung mit MKS/FEM
  - [Beispiel Off-Shore-WEA mit SAMCEF und winLIFE](#)
- Zusammenfassung

## Lebensdauerabschätzung durch MKS/FEM-Simulation / Beispiel Off-Shore-Anlage unter Wind- und Wellenbelastung



Die Möglichkeiten der statischen Superposition und Skalierung von Einheitslastfällen ist bei komplexen Bewegungen und hochdynamischen Vorgängen erreicht.

Die abgebildete WEA wurde mit S4WT (Samcef for Windturbinen) berechnet. Die für eine Lebensdauerberechnung notwendigen Ergebnisse, die Spannungstensoren werden von SAMCEF nach winLIFE exportiert. Dort erfolgt die Lebensdauerberechnung, die Schädigung wird dann in SAMCEF dargestellt.

- Aus der Kombination von MKS mit FEM läßt sich der für die Lebensdauerberechnung erforderliche Spannungstensor als Funktion der Zeit ermitteln. Die gesamte Problematik von Kontakten (Lager), Nichtlinearitäten wird im MKS-Modell gelöst.

Problem: Rechenzeit

winLIFE unterstützt dieses Vorgehen u.a. mit der Software SAMCEF, die eine Datenschnittstelle für winLIFE aufweist.

## Inhalt

- Übersicht der Methoden zur Lebensdauerberechnung mit winLIFE
- Ermittlung der lokalen Beanspruchung im Bauteil durch Superposition und Skalierung statischer Einheitslastfälle unter Verwendung von (gemessenen) Last-Zeit-Funktionen unter Berücksichtigung von Kontakt und Rotation
  - nichtlineare Probleme (Kontakt)
  - Rotation
  - Beispiel: Getriebegehäuse einer WEA unter realistischen Lasten mit ANSYS und winLIFE
- Ermittlung der lokalen Beanspruchung durch transiente Berechnung mit MKS/FEM
  - Beispiel Off-Shore-WEA mit SAMCEF und winLIFE
- [Zusammenfassung](#)

## Zusammenfassung

---

- Das Prinzip der statischen Superposition kann auch komplexe Probleme wie Kontakt und Rotation zeiteffizient lösen. Das geschilderte Beispiel ist typisch für viele Anwender im Bereich WEA. Der Anwender muß geeignete Ersatzsysteme für die FE-Einheitslastfälle definieren.

Die zu den Einheitslastfällen zugehörige Lastaufteilung bei Kontakt (positiv, negativ) oder bei Rotation (auf Winkelfenster) wird von winLIFE durchgeführt.

- Transiente Rechnungen mit FEM/MKS ermöglichen auf einfache Weise eine anschließende Lebensdauerberechnung, wozu lediglich die Spannungstensoren exportiert werden müssen. Die Software SAMCEF hat eine Exportfunktion zu winLIFE für diesen Zweck implementiert. Die Lebensdauerberechnung ist dann vergleichsweise einfach möglich.



Danke für Ihre Aufmerksamkeit